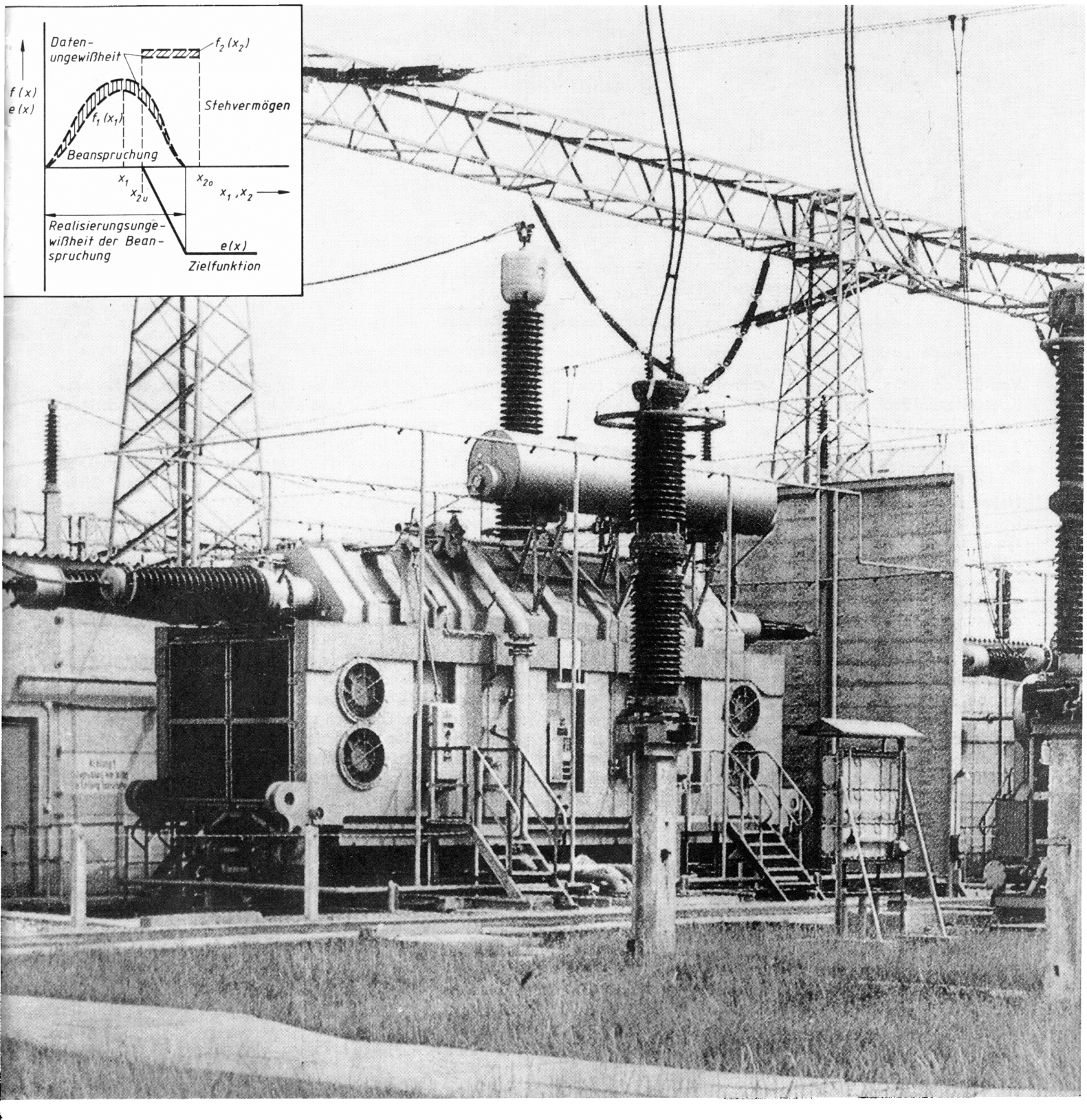
ELEKTRIE 10|88

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



Ungewißheit – Entscheidung – Realisierung

0120252

Neuerscheinung

Wellenvorgänge auf Hochspannungsfreileitungen

Berechnungsgrundlagen mit Anwendungen

Von Dr. sc. techn. Christian Hoy, Prof. em. Dr.-Ing. Harald Koettnitz und Prof. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. E. h. M. V. Kostenko
240 Seiten, 117 Bilder, 10 Tafeln, Leinen, DDR 33,– M, Ausland 56, – DM.
Bestellangaben: 553 889 1/Hoy, Wellenvorgänge

Hauptanliegen der Monographie ist die Bereitstellung wirklichkeitsnaher mathematischer Modelle des Elektroenergiesystems, besonders der Hochspannungsfreileitung, mit deren Hilfe die Untersuchung sowohl von stationären Vorgängen (verzweigte Trägerfrequenzstrecken) als auch von schnellverlaufenden Ausgleichsvorgängen (Schalt- und Blitzüberspannungen) unter Einsatz der modernen Rechentechnik möglich ist.
Im Teil 1 wird die Theorie der sinusförmigen Vorgänge auf den Grundlagen der Matrizenalgebra und der Modaltransformation im Frequenzbereich abgehandelt, im Teil 2 ist die Theorie der nichtstationären Vorgänge auf dem Mehrleitersystem der Hochspannungsfreileitung auf der Basis des Fourier-Umkehrintegrals für den Übergang vom Frequenzbereich in den Zeitbereich dargestellt. Es wird ein Algorithmus zur Berechnung schnellverlaufender Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem entwickelt. Er gestattet auch, die Korona- und die frequenzabhängige Dämpfung zu berücksichtigen. Im Teil 3 werden ausgewählte Beispiele der praktischen Anwendung vorgestellt: Betriebsdämpfung von Trägerfrequenzübertragung (TFH und TFE), wirksame Wellenwiderstände nach Abstandskurzschluß, Einschaltüberspannungen, Blitzüberspannungen.
Die Autoren waren bestrebt, die im Zeitbereich benötigten Modelle der Freileitung systematisch aus den Modellen im Frequenzbereich herzuleiten. Damit sind erstmalig in der Literatur die Modellierungsprobleme für stationäre und nichtstationäre (schnellverlaufende) Vorgänge zusammen unter einheitlichem systemtheoretischen Aspekt abgehandelt.
Typisch für die Darstellung des Stoffs ist die Verarbeitung von Erkenntnissen anderer Wissenschaftsgebiete, wie der Systemtheorie, der mathematischen Statistik, der numerischen Mathematik u.a. Dennoch strebten die Autoren danach, bei der Interpretation der Modelle und der Ergebnisse vom physikalischen Verständnis auszugehen und an vorhandenes Wissen sowie an die Denkgewohnheiten des Ingenieurs anzuknüpfen.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VT

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

10|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Ober-ing. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Unser Bild zeigt Großtransformatoren eines zentralen Umspannwerkes in der DDR, für die vom Kombinat Verbundnetze auf der Grundlage von Modellen, die an der Technischen Hochschule Zittau entwickelt wurden, technische Entscheidungen mit hohem ökonomischen Effekt gefällt werden.

Siehe hierzu den Beitrag auf den Seiten 371 bis 377 in diesem Heft.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 362

Budig, P.-K.

Magnetische Lager — ein Blick in die Zukunft 363

Jüngste Technische Hochschule in Zittau 364

Fachaufsätze

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, U.; Jugel, U.; Seyfarth, K.

Aktive magnetische Lager — eine Übersicht über die theoretischen Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme. Teil 1 365

Muschick, E.; Pilz, E.; Berger, F.

Entscheidungsprobleme der Elektroenergietechnik 371

Raček, V.

Industrieroboter mit elektrischen Antrieben 377

Beckert, U.; Neuber, W.

Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine 381

Hoy, Chr.; Maibaum, G.

Mathematische Statistik in BASIC: ω^2-Anpassungstest 383

Piersig, W.

Prof. Dr. Wicht begeht den 65. Geburtstag 388

Umschau

Ausstellungen 390

Fachtagungen 392

Patente 395

Bücher 396

AKTUELLE INFORMATION

Elektroenergiequalität

Fachtagung im VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig-Halle „Paul Verner" im Rahmen des 40jährigen Bestehens des Betriebes

Zeit: 3. November 1988
Ort: Leipzig
Veranstalter: KDT-Bezirksvorstand Leipzig mit dem Fachunterausschuß „Elektroenergiequalität" (FUA 0.7) und der KDT-Betriebssektion Leipzig im VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig-Halle

Die technisch-ökonomische Entwicklung führt zum verstärkten Einsatz von Elektroenergieumwandlungsanlagen unter Nutzung der Leistungselektronik und der Plasmatechnik in allen Industriezweigen der Volkswirtschaft der DDR.
Den Vorteilen dieser Anlagen und Verfahren stehen in der Regel Minderungen der Elektroenergiequalität gegenüber. Diese können vielfältige Beeinträchtigungen in Elektroenergieversorgungs-, Informations- und Produktionsprozessen bewirken und Zusatzverluste verursachen.
Die Fachkollegen der Produzenten entsprechender Betriebsmittel, der Projektierung und Errichtung sowie der Betreiber dieser Anlagen sollen über den Arbeitsstand zu den Problemen der Elektroenergiequalität in Verbindung mit dem Standardentwurf TGL 43624 informiert werden.

Inhaltliche Schwerpunkte
- Rationelle Elektroenergieanwendung und störungsfreier Betrieb der Elektroenergieanlagen durch die Erhöhung der Qualität der Elektroenergie
- Erläuterungen zum Fachbereichstandard TGL 43624 „Elektroenergiequalität" und Hinweise zur Anwendung
- Verfügbare Rechenprogramme zur Beherrschung der Elektroenergiequalität
- Stand und Entwicklung der Meßtechnik zum Nachweis der Elektroenergiequalität
- Netz- und abnehmerseitige Maßnahmen zur Verbesserung der Elektroenergiequalität in industriellen und öffentlichen Netzen

Anfragen

Kammer der Technik
Bezirksvorstand Leipzig
Bereich Wissenschaft und Technik
PF 40, Leipzig, 7010 — Tel. 70916
G. Jannasch, Leipzig EA 2902

Entwurf und Betrieb von Industrie- und Kraftwerkseigenbedarfsnetzen

8. Fachtagung Stabile Energieversorgung

Zeit: 13. Dezember 1988
Ort: Leipzig
Veranstalter: Technische Hochschule Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen

Inhaltliche Schwerpunkte
- Betriebsverhalten von Synchron- und Asynchronmaschinen (PC-Programme)
- PC-Programm Kurzschlußgrößen
- Verbesserte Zuverlässigkeitsarbeit mit Zuverlässigkeitspaß
- Störlichtbogenbeherrschung in DS-NS-Schaltanlagen
- Erfahrungen mit Entwurf und Betrieb von Stromrichteranlagen

Anfragen

Kammer der Technik, BVo Leipzig
PF 40, Leipzig, 7010
Technische Hochschule Leipzig
SEA 3, Dr.-Ing. H. Schau
Karl-Liebknecht-Str. 132
Leipzig
7030
F. Kloeppel, Leipzig EA 2842

SENSORTECHNIK '89

Fachtagung

Zeit: 1. bis 3. März 1989
Ort: Jena und Gera
Veranstalter: Bezirksverband Gera der Kammer der Technik gemeinsam mit den Bezirksfachsektionen Elektrotechnik/Elektronik der Bezirksverbände Gera, Erfurt und Suhl, der Friedrich-Schiller-Universität Jena und der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt

Inhaltliche Schwerpunkte:
- Sensorgrundlagen (Biologie, Chemie, Physik)
- Sensorkonstruktionen (Elementar- und Multisensoren, Integrationstechniken, Intelligente Sensoren, Mikroelektronische Sensoren, Teststrukturen)
- Sensortechnologien (Dünn- und Dickschichttechnologien, Halbleitertechnologien, Folientechnologien, Sintertechnologien, Lichtwellenleitertechnologien)
- Sensorapplikationen (Bergbau, Maschinenbau, Qualitätssicherung, Fahrzeugtechnik, Optik, Energietechnik, Landwirtschaft, Medizin, Umweltschutz, Luft- und Raumfahrt, Mikroelektronik, Rechentechnik, Nachrichtentechnik, Chemie, Biologie, Physik, Seefahrt, Konsumgüter, Lebensmittelindustrie, Wasserwirtschaft, Bauwesen)
- Sensorschnittstellen (Anpassungselektronik, Interface, Rechnergestützte Signalaufbereitung)

Anfragen

zu *Vortrags-, Teilnahme- und Mitwirkungsmeldungen* (Termin 31. 10. 1988) sind zu richten an
Kammer der Technik
Bezirksverband Gera
Bereich Wissenschaft und Technik
Humboldtstr. 13
Gera
6500
Tel.: 23338 oder 23339
zu *inhaltlichen Fragen* sind zu richten an
Friedrich-Schiller-Universität
Sektion Technologie
Doz. Dr. sc. techn. *H. Ahlers*
Jena
6900
Tel.: 8224321
Die Redaktion EA 2895

Technische Keramik

3. wissenschaftliche Fachtagung

Zeit: 3. bis 5. Mai 1989
Ort: Hermsdorf
Veranstalter: Fachausschuß „Keramik für technische Anwendung" im Fachverband Silikattechnik der KDT und dem Bezirksvorstand Gera

Im Hinblick auf das hundertjährige Bestehen des Kombinates VEB Keramische Werke Hermsdorf werden grundlegende Beiträge zur

Elektrokeramik, Mechanokeramik, Magnetkeramik

vorgestellt, die die langjährige Entwicklungsarbeit in diesem Kombinat würdigen. Im Mittelpunkt der Tagung stehen neue wissenschaftliche Ergebnisse und ihre technologische Umsetzung. Ein spezieller Komplex hat die Probleme der eigenschaftsorientierten Pulverpräparation für neue Keramikwerkstoffe zum Inhalt.
Eine Ausstellung neuer Erzeugnisse sowie ein umfangreiches Vortrags- und Posterprogramm bieten während der dreitägigen Veranstaltung besondere Informationsmöglichkeiten.

Anfragen

und Anmeldungen sind zu richten an
Ingenieurschule für Elektrotechnik und Keramik Hermsdorf
Rodaerstr. 45, Hermsdorf, 6530
Die Redaktion EA 2885

Galvanotechnik

10. Internationale Fachtagung

Zeit: 3. bis 5. Mai 1989
Ort: Berlin
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kanmer der Technik; Fachausschuß Galvanotechnik Halle/Leipzig, Berlin; Kombinat VEB Lokomotivbau — Elektrotechnische Werke „Hans Beimler"

Inhaltliche Schwerpunkte
- Optimierung des komplexen galvanischen Beschichtungsprozesses
  - Rechnergestützte Fertigungsvorbereitung und Projektierung
  - Prozeß- und Transportsteuerung einschließlich Software-Entwicklung
  - Periphere Teilsysteme zur schadstoffarmen Abwasser- und Abluftbehandlung sowie Werkstoffrückgewinnung
- Neue Verfahren der Hochleistungsgalvanik
  - Dekorativer Korrosionsschutz
  - Verschleißschutz und Regenerierung von Bauteilen
- Galvanische Abscheidung in der Mikroelektronik
  - Hochgeschwindigkeitsabscheidung (stromlos und elektrolytisch)
  - Bunt- und Edelmetalleinsparung
  - Selektionsbeschichtungen einschließlich laserinduzierte Abscheidung

Anfragen

und Teilnahmemeldungen sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium Fachverband Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin, 1086
H. Hoppe, Berlin EA 2775

Magnetische Lager – ein Blick in die Zukunft

Von

Prof. Dr. sc. techn.
Peter-Klaus Budig

Vizepräsident der
Kammer der Technik
Wissenschaftsbereichsleiter
an der Sektion Automatisierungstechnik
der Technischen Universität
Karl-Marx-Stadt

Seit den ersten Anfängen der Technik gab es immer die Aufgabe der Lagerung von rotierenden Teilen, z. B. Wellen oder Rädern. Später kam auch die Aufgabe hinzu, Gleitebenen, die sich gegeneinander bewegen, z. B. in Werkzeugmaschinen, zu lagern. Als wichtige Prinzipien haben sich Wälz- und Gleitlager herausgestellt, wobei bei letzteren noch in hydrostatische und hydrodynamische Formen zu unterscheiden ist. Diese Lager haben sich bewährt. Obwohl in jedem Fall ein Ölfilm für die metallberührungsfreie Anordnung sorgt, können dennoch Verschleißerscheinungen zwischen den Gleitflächen entstehen. Durch die Bewegung der Schmiermittel entstehen Verluste, und je größer die Lager sind, um so notwendiger wird es, auch durch zusätzliche Maßnahmen für die Abführung von Verlusten zu sorgen.

In den letzten zehn Jahren entstanden mehr und mehr auch Forderungen nach der Erhöhung der Gleitgeschwindigkeiten. Das ergab sich einmal dadurch, daß z. B. elektrische Maschinen in immer höhere Drehzahlbereiche eindrangen, die weit über der „Schallmauer" von 3000 min^{-1} liegen, ebenso wie auch Fragen der Lagerung bei linearen Bewegungen für z. B. Schienenfahrzeuge interessant wurden.

In diesen Fällen kommt man schnell dazu, daß die abzuführenden Verlustleistungen immer größer werden, aber auch daß der konventionelle Betrieb mit mechanischem Kontakt der Lagerteile, insbesondere dann, wenn große Bereiche der Gleitgeschwindigkeiten bei den Bewegungsvorgängen überstrichen werden müssen, nicht mehr die geeignete Lösung darstellt. Die Suche nach anderen Lagerprinzipien führt sehr schnell zur Nutzung der anziehenden Kräfte an Grenzflächen im magnetischen Feld, also zum magnetischen Lager. Hierbei kann man unterscheiden in aktive und passive Lager. Erstere beruhen in ihrer Wirkungsweise darauf, daß ein an sich instabiler Zustand im magnetischen Feld, z. B. bei Lagerung einer Welle, durch eine Regeleinrichtung zu einem stabilen Gleichgewicht geführt wird, während bei letzteren die Stabilität durch entsprechende Polung der magnetischen Systeme an den beiden Bewegungsträgern erreicht wird. So bildeten sich Lösungen heraus sowohl für Hochgeschwindigkeits-Transportsysteme, die die horizontale und auch die vertikale Führung eines Fahrzeugs gegenüber einem fest vorgegebenen Untergrund vornehmen, als auch interessante Lösungen elektromagnetischer Systeme für die Lagerung von Wellen. Letzteres war über einige Jahre auch Forschungsgegenstand im Wissenschaftsbereich Elektrische Antriebstechnik/Antriebsmittel der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt. Es gelang, ausgehend von einem ersten Untersuchungsobjekt einer vertikalen Welle auch eine horizontale Anordnung, die vollständig magnetisch gelagert ist, die also sowohl in radialer als auch in axialer Richtung die Fixierung einer Welle gegenüber einem feststehenden Gehäuse übernimmt, zu lösen. Diese Lösungen sind nur möglich durch Schaffung elektromagnetischer Systeme, die zweckentsprechend so dimensioniert sind, daß bei Stillstand wie auch Bewegung möglichst geringe Verluste entstehen. Die Einspeisung dieser elektromagnetischen Systeme erfolgt über dynamisch hochwertige Stromrichter, die dann ihrerseits wiederum von Regelsystemen so angesteuert werden, daß der Wellenmittelpunkt im stationären Betrieb wie auch bei auftretenden Stoßbelastungen nur minimale oder gar keine Abweichungen gegenüber der idealen Mitte aufweist. Derartige Anordnungen lassen sich für den Dauerbetrieb stabil aufbauen, haben den Vorteil, daß keinerlei mechanische Berührung vorhanden ist, erfordern aber immer noch ein Notlauflager, das erst bei Ausfall der elektrischen Stromversorgung anspricht. Das könnte sowohl eine Gleit- als auch eine Rollenanordnung sein. Wichtig ist nur, daß diese Lageranordnung im Normalbetrieb überhaupt nicht zur Wirkung kommt.

Natürlich muß man die Verluste bei Stillstand und die bei Bewegung bedenken. Die notwendige Regelung des elektromagnetischen Systems nach den Belastungen der Welle hat zur Folge, daß sich ein Teil der elektromagnetischen Durchflutung zeitlich ändert, so daß auch sich zeitlich ändernde magnetische Flüsse auftreten, die in den magnetischen Partien des Lagers Verluste hervorrufen. Bei Bewegung der beiden Teile gegeneinander entstehen weitere Verluste im rotierenden Teil durch dessen Ummagnetisierung im magnetischen Feld. Durch geeignete Bemessung des magnetischen Kreises, richtige Auswahl des elektromagnetischen Stahles sowie richtige Auswahl der einzusetzenden Blechdicken lassen sich diese Verluste minimieren. Durch Vergleiche konnte gezeigt werden, daß letztendlich das elektromagnetische Lager aus der Sicht des Verlusthaushaltes, trotz des erforderlichen Stromrichters, noch immer günstiger ist als das mechanische Gleitlager, dessen Verluste eine Abführung mit Rückkühlsystemen erforderlich machen. Auf der anderen Seite ist es nahezu unerheblich, mit welcher Drehzahl sich die Teile gegeneinander bewegen, so daß auch die bei klassischen geschmierten Lagersystemen sich ergebenden Drehzahlbegrenzungen entfallen und Rotationsanordnungen schaffbar sind, die in unkonventionelle Geschwindigkeitsbereiche vordringen.

Entwicklungen derartiger magnetischer Lager sowohl für lineare als auch für rotatorische Bewegungen sind vielerorts international im Gange und in der Erprobung. Unlängst wurde diesen Problemen (Juni 1988) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich in der Schweiz eine Tagung gewidmet. Die große Zahl der Teilnehmer zeigte, daß das Problem weltweit von Interesse ist. Im vorliegenden Heft erfolgt eine Repräsentation erreichter Forschungsergebnisse und deren Erprobung. Damit sollen Anregungen für künftige Anwender solcher Lager gegeben werden, um diese hochinteressante Technik möglichst schnell in die Breite zu tragen. EA 2892

Jüngste Technische Hochschule in Zittau

Nach fast 20jährigem Bestehen der Ingenieurhochschule Zittau verlieh der Minister für Hoch- und Fachschulwesen der DDR, Gen. Prof. Dr. h. c. *H.-J. Böhme*, dieser Bildungsstätte im Mai 1988 in Anerkennung der erfolgreichen Entwicklung auf Beschluß des Ministerrates den Status „Technische Hochschule Zittau".

Die damit jüngste Technische Hochschule unserer Republik hatte sich in den nahezu zwei Dezenien zu einer international anerkannten Ausbildungsstätte sozialistischer Fachleute für die Energietechnik und Energiewirtschaft und zu einer Forschungsstätte profiliert, die maßgeblich Einfluß auf die Entwicklung der Energietechnik und des Kraftwerksanlagenbaus der DDR nimmt sowie zu einem Zentrum der Weiterbildung für Kader dieses Industriezweiges geworden ist. Pionierarbeit leistete die Hochschule besonders für die Entwicklung der Kernenergetik, Kernkraftwerkstechnik, Elektroenergieversorgung, Automatisierungstechnik und Ingenieurökonomie, indem sie frühzeitig die Aus- und Weiterbildung der Hochschulkader für diese Fachgebiete aufnahm. Die Technische Hochschule Zittau vertritt heute in vier Sektionen, einem Institut Marxismus-Leninismus und drei wissenschaftlichen Abteilungen mehr als 60 Wissenschaftsdisziplinen. Sie repräsentieren sowohl ein breites Spektrum allgemeiner mathematischer, naturwissenschaftlicher, technischer und gesellschaftswissenschaftlicher Grundlagendisziplinen als auch alle wesentlichen, das energetische Profil bestimmenden Fachdisziplinen, die teils für die DDR unikal sind. Sie verfügt über eine leistungsfähige zentrale und dezentrale Rechentechnik. Rund 20 moderne Laboratorien, darunter für Kerntechnik mit dem Zittauer Lehr- und Forschungsreaktor, elektrische Schutztechnik, Automatisierungstechnik, Hochspannung, Kraftwerks- und Gastechnik sowie das Industrielabor im Kraftwerk Hirschfelde gewährleisten eine praxisnahe Aus- und Weiterbildung sowie eine breite Grundlagen- und angewandte Forschung, z.T. in enger Zusammenarbeit mit der Industrie. Es bestehen mehrere anerkannte wissenschaftlich-methodische Zentren, u.a. auf den Gebieten Kernenergie, Braunkohleverbrennung und Umweltschutz, Elektroenergieübertragung, Rationelle Energieanwendung, Technische Diagnostik, Abrasivverschleiß und Schallemission von Werkstoffen. Bisher wurden rund 3800 Absolventen in 6 Fachrichtungen — Kernenergietechnik, Kernkraftwerkstechnik, Kraftwerkstechnik, Energieanwendung, Elektrotechnik und Ingenieurökonomie — ausgebildet. Mehr als 330 ausländische Studenten, Zusatzstudenten und Aspiranten aus 33 Ländern erhielten eine praxisorientierte Hochschulausbildung. Rund 1700 Facharbeiter erwarben in Vorkursen die Hochschulreife. 278 erfolgreich durchgeführte Promotionsverfahren A und 18 Promotionsverfahren B dienen dem wissenschaftlichen Leben und der Entwicklung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Die Technische Hochschule Zittau besitzt das Recht zur Verleihung der akademischen Grade „Dr. eines Wissenschaftszweiges" (Dr.-Ing., Dr. oec.) und „Dr. der Wissenschaften" (Dr. sc. techn.).

Seit 1970 koordiniert die Hochschule im Rahmen des Weiterbildungskomplexes „Energiewirtschaft und -technik" alle diesbezüglichen Weiterbildungsmaßnahmen in der DDR, wobei sie selbst den Hauptteil trägt. Weiterbildungsschwerpunkte und -zentren der Hochschule sind dabei Kernkraftwerkstechnik und nukleare Sicherheit, Kraftwerkschemie, Bau- und Montagetechnologie, Instandhaltung, Informatik und Automatisierungstechnik, Territoriale und betriebliche Rationalisierung der Energiewirtschaft und Regimesteuerung des Elektroenergieverbundsystems. Bisher wurden nahezu 10000 Industriekader in 25 Postgradualstudien und 330 Kurzlehrgängen mit neuesten Forschungsergebnissen vertraut gemacht.

Die Forschung der TH Zittau ist seit Jahren verstärkt auf Schlüssel- und Hochtechnologien orientiert (gegenwärtig 57%). Hauptforschungskomplexe sind Kernenergietechnik, Meß- und Automatisierungstechnik, Vorbereitung, Errichtung und Betrieb von Elektroenergieanlagen, Werkstoff- und Bauteilverhalten, Technische Diagnostik, Instandhaltung, Verbrennung, Abwärmenutzung und Schadstoffreduzierung sowie Leitung und Planung der Energieversorgung und rationelle Energieanwendung. Die enge Verflechtung von Hochschule und Industrie belegen 9 Koordinierungsverträge, in denen über 80% der Vertragsforschung gebunden sind. Der Anteil der bearbeiteten Staatsplanthemen stieg in den letzten 10 Jahren auf 40%. Zugleich werden 3 zentrale Jugendobjekte bearbeitet. Die Patentergiebigkeit konnte in den Fünfjahrplanzeiträumen von 10 (1981) und 21 (1985) auf gegenwärtig 35 Erfindungen pro 100 VbE gesteigert werden.

Bild 1. Der scheidende Rektor, Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Ackermann* (l.), gratuliert dem neuen Rektor der Technischen Hochschule Zittau, Prof. Dr. sc. techn. *Edwin Muschick* (r.) zur Amtsübernahme

Die TH Zittau unterhält zu 19 Hochschulen und Akademieinstituten des sozialistischen und kapitalistischen Auslandes Beziehungen. Freundschaftsverträge bestehen mit dem Moskauer Energetischen Institut und den Technischen Hochschulen Liberec, Wrocław und Gliwice.

Hochschulvereinbarungen bestehen mit den Technischen Hochschulen Helsinki und Lappeenranta sowie mit der Technischen Universität Wien im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit. Allein im vergangenen Jahr wurden in diesem Rahmen 52 Aufgaben gemeinsam gelöst.

Höhepunkte des wissenschaftlichen Lebens der Hochschule sind die „Wissenschaftliche Konferenz für Energiewirtschaft", die bisher achtmal durchgeführt wurde sowie das Internationale Sommerseminar ML und 7 vorwiegend internationale Fachkolloquien.

Wissenschaftler der TH Zittau publizierten bisher 57 Lehr- und Fachbücher, von denen 18 im Ausland verlegt wurden.

Mit dem Studienjahr 1988/89 beginnt die Technische Hochschule Zittau als erste Hochschule mit der durchgängig neugestalteten Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Ökonomen in den sieben, z.T. neuen bestätigten Fachrichtungen Kernenergietechnik, Kernkraftwerkstechnik, Energiemaschinen, Apparate und Anlagen, Wärmetechnik/Kraftwerks- und Gastechnik, Elektrotechnik/Elektroenergieversorgung, Automatisierungstechnik/Energetik und Ingenieurökonomie der Energieversorgung und Energieanwendung.

S. Zeißig

EA 2901

Bild 2. Übergabe der neuen Amtskette des Rektors aus Anlaß der Statusänderung

Aktive magnetische Lager – eine Übersicht über theoretische Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme[1)] Teil 1

P.-K. Budig; H. Timmel; Th. Schubert; U. Jugel; K. Seyfarth; Karl-Marx-Stadt

Die Suche nach besseren Lagerungen für rotierende Teile ist eigentlich schon so alt wie die Erfindung stützender und tragender Elemente zur Aufnahme verschiedener Bewegungen überhaupt. Sie ist besonders als Voraussetzung für die zunehmende Verwirklichung von Spitzentechnologien wie der effektiven Hochgeschwindigkeitsbearbeitung bei Werkzeugmaschinen, im Betrieb leistungsfähiger Pumpen und Verdichter, in der Weltraumforschung, Kerntechnik oder im Verkehrswesen auch heute ein wesentlicher Bestandteil von Forschung und Entwicklung.

Neue Anforderungen für Lagerungen ergeben sich besonders durch die Notwendigkeit höherer Drehzahlen und den Einsatz unter kritischen Umgebungsbedingungen. Grenzen bezüglich Energiebedarf, Lebensdauer und Wartungsaufwand sind zu überwinden. Konventionelle Wälz- und Gleitlager, die sich besonders durch ihren einfachen konstruktiven Aufbau auszeichnen, können für einige der eingangs genannten Aufgaben nicht mehr mit Erfolg eingesetzt werden.

Das hat bei Wälzlagern unter anderem folgende Ursachen:

— Unzulässig hohe punkt- und linienförmige Pressung der Wälzkörper und Laufflächen
— Abheben der Wälzkörper unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft von ihren Laufflächen und Übergang von der angestrebten Rollreibung zu einer trockenen Reibung u. a. m.

Einsatzgrenzen bei Gleitlagern ergeben sich insbesondere durch

— das Abreißen des Schmierfilms bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten
— die Veränderung der Schmiermitteleigenschaften (Alterung, Temperatur)
— Schwierigkeiten bezüglich der Abdichtung des Schmiermittels gegenüber dem Umgebungsmedium u. a. m.

Die neuen Anforderungen an ein Lager haben einerseits zu speziellen Konstruktionen herkömmlicher Lager, andererseits zum Einsatz neuer Wirkprinzipien geführt. Dazu zählen unter anderem:

— Radialschräglager mit ausgesuchten Hochpräzisionskugeln
— hydrostatische Lager
— hydrodynamische Lager
— aerostatische Lager.

Dennoch wird deren maximale Drehzahl zumeist durch zu hohe Reibmomente oder zu geringe Lagersteifigkeit bzw. Tragfähigkeit bestimmt, treten je nach Lagerart Probleme hinsichtlich der Abdichtung, Lebensdauer, Geräuschentwicklung oder anderer Lagereigenschaften auf. Außerdem sind in jedem Fall umfangreiche Zusatzeinrichtungen notwendig, die hohe Anschaffungs- und Betriebskosten verursachen.

Eine vielversprechende Entwicklungsrichtung ist die Magnetlagerung, die erst in den letzten Jahren zur technischen Reife entwickelt werden konnte. Als hauptsächliche Vorteile aktiver Magnetlager werden unter anderem genannt:

— Kein mechanischer Kontakt zwischen Rotorzapfen und Lagerschale, somit kein Verschleiß und nur geringe Bremsmomente allein durch Eisenverluste)
— geräuscharmer Lauf
— geringe Erwärmung
— Eignung für höchste Umfangsgeschwindigkeiten
— keine Schmierung, daher Wartungsfreiheit der mechanischen Teile, keine Dichtungen, keine Sperrmedien für einen Schmierstoff, Betrieb unter extremen Umgebungsbedingungen (Hochvakuum, tiefe und hohe Temperaturen, in steriler Umgebung und bei korrosiver sowie radioaktiver Atmosphäre)
— aktive Beeinflussung der Lagerkräfte durch die Regelelektronik, daher hohe Tragfähigkeit und statische Steifigkeit, sehr hohe Laufgenauigkeit, gutes dynamisches Verhalten (Schwingungsdämpfung, Laufruhe)
— hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer.

Die aktive Magnetlagerung kann somit für eine Reihe komplizierter Lagerprobleme verwendet werden, wie sie auch in der Industrie der DDR zu lösen sind.

Obwohl die Fachpresse in mehreren Veröffentlichungen über die Vorteile von Magnetlagern sowie deren praktische Erprobung berichtet und eine forcierte Forschung auf diesem Gebiet gegenüber anderen Wirkprinzipien deutlich wird, werden Methoden zur Auslegung und Berechnung nur in Ansätzen erwähnt.

Der vorliegende Aufsatz enthält im Überblick die für Entwurf, Aufbau und Erprobung eines radialen aktiven Magnetlagers notwendigen Betrachtungen zur Mechanik der Anordnung, zur Dimensionierung und Ansteuerung der Magnetsysteme, zur Regelungstechnik und zur berührungslosen Meßtechnik.

1. Systematik von Magnetlagervarianten (vgl. Bild 1)

Der Gedanke, Rotoren mit Magnetkräften zu lagern, ist schon mehr als 100 Jahre alt. Untersuchungen über die Möglichkeit, Körper im Magnetfeld von Permanentmagneten schweben zu lassen, sind von *Earnshaw* (1839) [1] und *Maxwell* (1873) [2] bekannt geworden. Dabei wurde nachgewiesen, daß es nicht möglich ist, einen Körper vollkommen mit Hilfe von Permanentmagneten magnetisch zu lagern. Ein passiv berührungsfrei magnetgelagertes System benötigt also ein Stützlager, das z. B. ein mechanisches Lager oder ein aktives Magnetlager ist.

Aus dem Jahr 1909 liegt das erste deutsche Patent zur Problematik der Magnetlager vor [3]. Erste Erfolge wurden durch permanentmagnetische Werkstoffe mit größerer magnetischer Energiedichte für den dynamischen Betrieb erzielt.

Grundlegend zu unterscheiden sind

— passive Magnetlager, bei denen der zu lagernde Körper durch die geschickte Ausnutzung der im Magnetsystem wirkenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten, ohne Zuhilfenahme einer Regelung, in einem oder mehreren Freiheitsgraden berührungsfrei fixiert wird und
— aktive Magnetlager, bei denen das Elektromagnetsystem die Welle durch die Wirkung eines Regelkreises in einer gewählten Lage hält.

Die aktiven Magnetlager wurden erst in den letzten Jahren zur technischen Reife entwickelt, da erst die Transistortechnik, besonders aber die Herstellung integrierter Schaltkreise, die Voraussetzungen für den Bau geeigneter Meßsysteme, Regler und Leistungsverstärker geschaffen hat.

Den wesentlichen Anteil der passiven Magnetlager stellen die Permanentmagnetlager. Grundvoraussetzung ist ein Permanentmagnetpaar. Je nach Art der Anordnung werden die zwischen den Magneten auftretenden anziehenden oder abstoßenden Kräfte genutzt. Für die Realisierung der Lagerfunktion muß keine Energie zugeführt werden. Die Lagerung ist wartungsfrei. Permanentmagnetlager haben im allgemeinen ein schlechtes Dämpfungsverhalten, eignen sich also vor allem für Fälle konstanter Belastung. Aus der Literatur sind bisher Tragkräfte bis zu einigen zehn Newton bekannt. Bei permanentmagnetischen Unterstützungen, die herkömmliche Lagerungen entlasten, können größere Kräfte realisiert werden.

2. Aktive Magnetlager

Bei aktiven Magnetlagern werden die Kräfte genutzt, die ein Magnetfeld an den Grenzflächen von Stoffen unterschiedlicher Permeabilität hervorruft. Dazu wird von einer stromdurchflossenen Spule, die einen Teil des Eisenkreises umgibt, ein Magnetfeld aufgebaut.

Prof. Dr. sc. techn. *Peter-Klaus Budig*, Technische Universität Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik; Dr. sc. techn. *Heinz Timmel*, TUK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Thomas Schubert*, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum für Werkzeugmaschinenbau Karl-Marx-Stadt, z. Z. der Bearbeitung der Thematik wissenschaftlicher Assistent an der THK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Klaus Seyfarth*, Lektor, TUK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Ulrich Jugel*, wissenschaftlicher Assistent, TUK, Sektion Automatisierungstechnik.

[1)] Teil 2 erscheint im Heft 11/88.

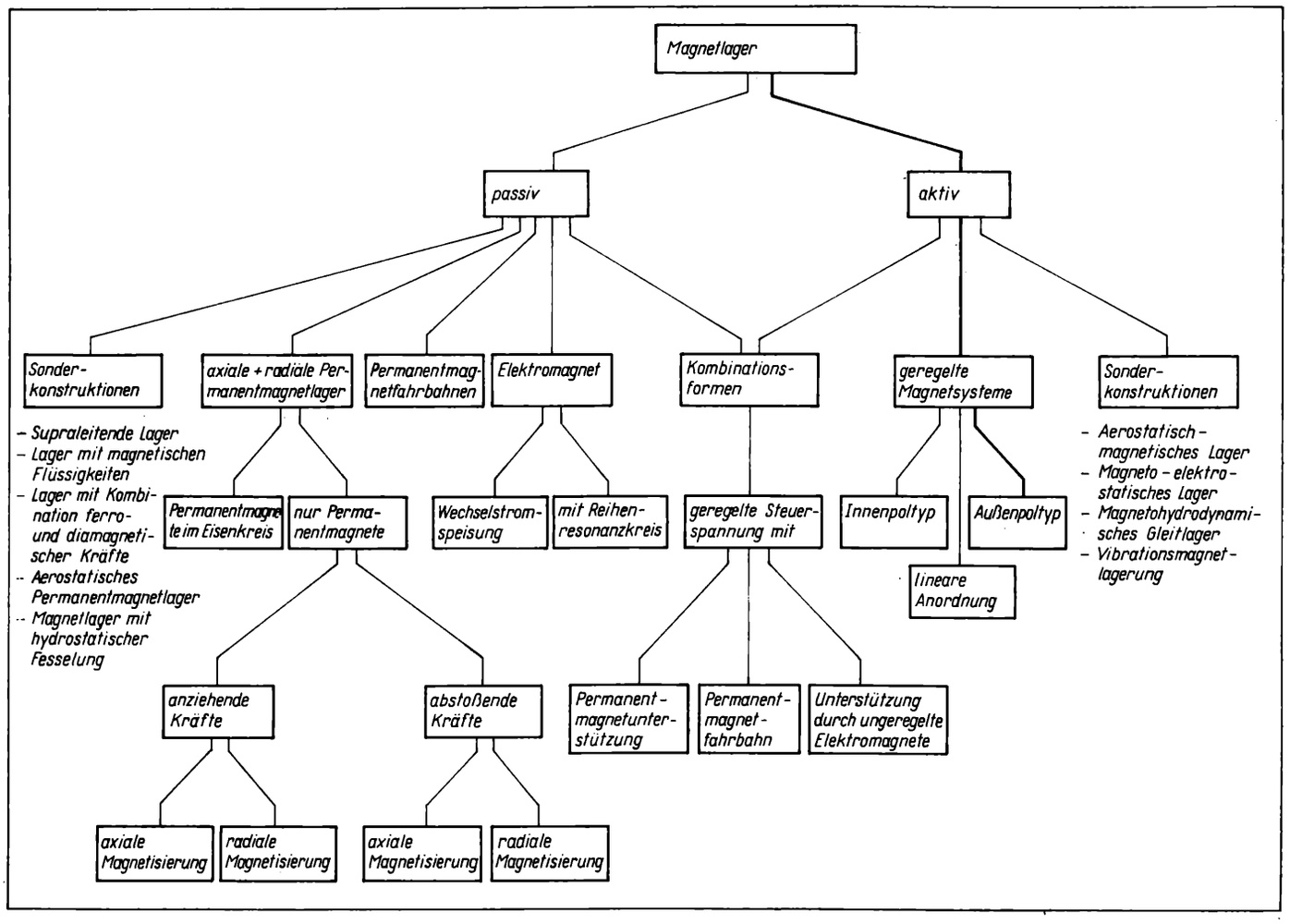


Bild 1. Übersicht zu bekannten Realisierungsmöglichkeiten aktiver und passiver Magnetlager

Die an den Grenzflächen Eisenkreis/Luftspalt auftretenden Magnetkräfte zielen auf eine Verkleinerung des bestehenden Luftspaltes ab. Es werden anziehende Kräfte ausgeübt. Beim aktiven Magnetlager werden diese Anziehungskräfte über eine gezielte Steuerung des Magnetfeldes als Tragkräfte zur berührungslosen Lagerung genutzt.

Vorteilhaft ist der relativ einfache konstruktive Aufbau dieser Anordnungen, der denen von herkömmlichen Elektromaschinen weitgehend entspricht. Dieses Konstruktionsprinzip ermöglicht die Erzeugung großer Kraftdichten (Kraft je Fläche) bei einem relativ geringen Energiebedarf.

Eine systemeigene Stabilität, z. B. bei den Permanentmagnetlagern, liegt nicht vor, da zwischen erzeugter Magnetkraft und Luftspalt ein indirekter Zusammenhang besteht. Bei einer betriebsbedingten exzentrischen Rotorlage wird bei gleicher Durchflutung an der Stelle mit dem kleinsten Luftspalt die größte Kraft erzeugt. Somit wird die exzentrische Rotorlage durch die Magnetkraft verstärkt und nicht, wie beabsichtigt, verringert. Die gewünschte Stabilität muß somit durch einen Regelkreis erzwungen werden. Dazu wird ständig die Position des zu lagernden Elements gemessen, das Meßsignal in einem Regler entsprechend einem vorgegebenen Sollwert bewertet und einem Leistungsverstärker zur Ansteuerung des Magnetsystems zugeführt (Bild 2). Der Regelkreis bestimmt zugleich die statischen und dynamischen Eigenschaften der Anordnung. Für die spezielle Anwendung des Funktionsprinzips in einem Radiallager, das Kräfte in zwei Koordinatenrichtungen aufnehmen muß, sind mindestens drei entkoppelte Magnetsysteme notwendig, um die Tragkräfte in den geforderten Wirkungsrichtungen erzeugen zu können (Bild 3).

Die ebenfalls im Bild 3 dargestellte Anordnung mit vier Magnetsystemen ermöglicht eine direkte Zuordnung der Lagerkomponenten zu den Koordinatenachsen.

Mit zwei Magnetsystemen kann ein Axiallager aufgebaut werden (Bild 4). Sinnvollerweise werden hier die Magnetsysteme ringförmig ausgebildet.

Für die vollkommen berührungslose Lagerung einer Welle mit aktiven Magnetlagern sind zwei Radiallager und ein Axiallager notwendig. Schließt man zunächst Verkopplungen zwischen den einzelnen Lagerstellen und einzelnen Achsen der Radiallager aus, ist der im Bild 2 gezeigte Regelkreis mit allen seinen Elementen fünffach notwendig. Dieser notwendige Aufwand, der den bereits in der Einleitung genannten Vorteilen gegenübersteht, begrenzt das Einsatzgebiet der aktiven Magnetlager.

2.1. Theoretische Grundlagen am Beispiel eines aktiven, radialen Magnetlagers

2.1.1. Entwicklungsstrategie

Es wurde bereits die Strukturinstabilität des Systems Welle — Magnetsystem qualitativ herausgearbeitet. Damit steht jedoch nicht zugleich fest, daß bei Einbau dieser Komponente in einem Regelkreis dieser ebenfalls strukturinstabil sein muß. Stabilität zu erreichen ist die Zielstellung der aktiven magnetischen Lagerung. Dazu ist der strukturelle Aufbau des Regelkreises so zu wählen, daß dessen Stabilität durch die geeignete Wahl der Parameter seiner einzelnen Bestandteile erreicht werden kann und eine technische Realisierung möglich ist.

Ausgangspunkt der Überlegungen ist der Einsatz des klassischen PD-Algorithmus für die Regelung. Seine einfache Handhabbarkeit ist besonders im Experimentalstadium nützlich. Die sich ergebende relativ einfache Grundstruktur des Regelkreises ermöglicht einen guten Überblick über die Einflüsse der Parameter seiner einzelnen Komponenten.

Die Beschäftigung mit dem Regelkreis des aktiven radialen Magnetlagers ist durch mehrere Etappen gekennzeichnet, die sich durch verschiedene Stufen der Hardware-Entwicklung und der Beschreibung des Regelkreises unterscheiden (vgl. Bild 5). Zur Realisierung eines funktionierenden Gesamtregelkreises ist jeweils der folgende Algorithmus abzuarbeiten:

— Die Einzelkomponenten müssen aufgebaut und auf Übereinstimmung der theoretisch vorausberechneten mit den tatsächlich erreichten Werten überprüft werden

— Systemidentifikation der Elemente des Regelkreises (Bestimmung der Struktur der stationären Übertragungsfaktoren und der Zeitkonstanten jedes einzelnen Elements des Regelkreises)

— Strukturidentifikation des Gesamtregelkreises
— Aufstellung der charakteristischen Gleichung des Regelkreises
— Bestimmung der Grenzen der Reglerparameter durch Anwendung von Stabilitätskriterien
— Untersuchung der dynamischen Verhältnisse am Regelkreis mit Hilfe des Wurzelortskurvenverfahrens
— Einstellung der optimalen Reglerparameter am Versuchsmodell und praktische Überprüfung.

Ausgehend davon, daß jede Parameteränderung eines Elements in die charakteristische Gleichung des Gesamtregelkreises eingeht, wird deutlich, daß dann jeweils der gesamte Algorithmus mit den neuen Kenngrößen abgearbeitet werden muß. Nur so kann die Funktion des Gesamtregelkreises in gewünschter Weise gewährleistet und beeinflußt werden.

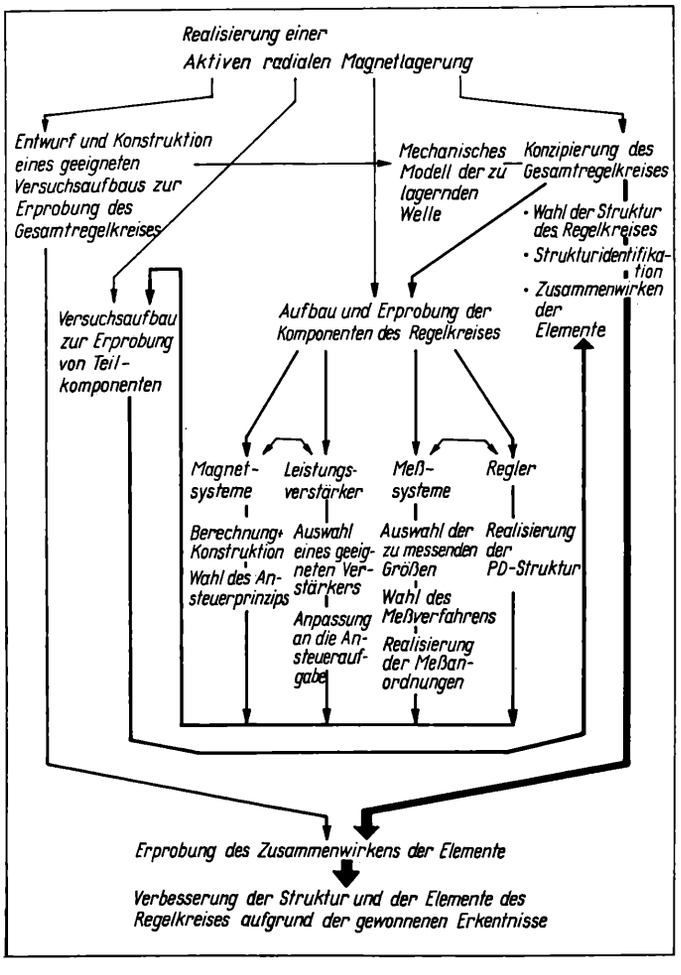
2.1.2. Elektromagnete des radialen Magnetlagers unter Verwendung einer Differentialwicklung als „Stelleinrichtung"

Als Stelleinrichtungen werden Elektromagnete eingesetzt, die als gemeinsamer Eisenkreis den Stator des radialen Magnetlagers bilden (Bild 6). Zwei Magnetsysteme dienen der Bereitstellung der Stellkräfte in Richtung der x-, zwei Magnetsysteme in Richtung der y-Koordinate. Das anzustrebende, nahezu lineare Verhalten des Stellgliedes läßt sich durch eine Differentialwicklung erreichen. Bild 6 zeigt das Prinzip der Wicklung in einer der beiden zueinander senkrechten Richtungen (entsprechend den kartesischen Koordinatenachsen x und y).
Ausgangspunkt für die Magnetkraftberechnung ist die Gleichung

$$p = \frac{\overrightarrow{\mathrm{d}F}}{\overrightarrow{\mathrm{d}A}} \approx \frac{B_\delta^2}{2\mu_0} \qquad (1)$$

p flächenbezogene Kraft
F Kraft
A Fläche
B_δ Luftspaltinduktion

zur Berechnung des Kraftkennlinienfeldes $F = f(\Theta_x, \Delta x)$ für ein Magnetsystem. Unter Beachtung der gegenseitigen Verknüpfung



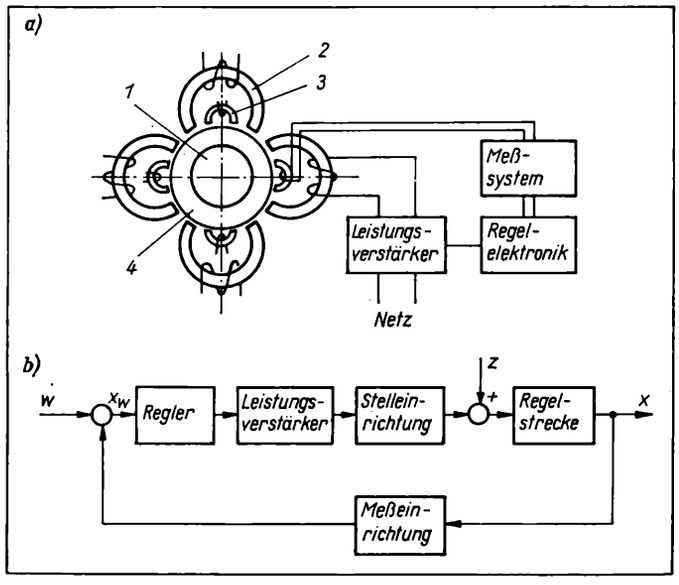


Bild 2. a) Prinzip eines aktiven radialen Magnetlagers und b) grundlegender Aufbau des Regelkreises eines aktiven Magnetlagers
1 Welle (Regelstrecke); 2 Magnetsystem als Stelleinrichtung; 3 induktiver Sensor; 4 Rotorring

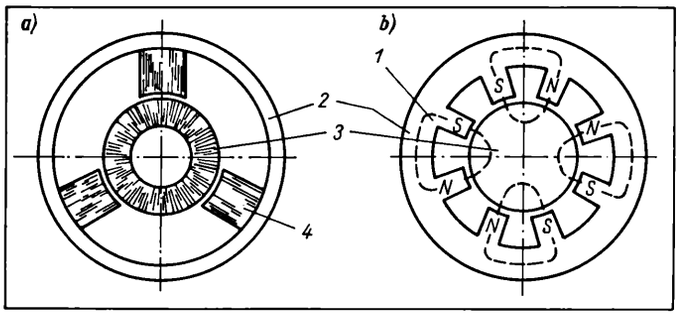


Bild 3. Prinzipieller Aufbau des Eisenkreises eines aktiven radialen Magnetlagers
a) mit 3 Magnetsystemen (Magnetfluß in Richtung der Rotorachse);
b) mit 4 Magnetsystemen (Magnetfluß quer zur Rotorachse)
1 magnetischer Fluß; 2 Stator; 3 Rotor; 4 Magnetsystem (längs der Rotorachse)

Bild 4
Prinzipieller Aufbau des Eisenkreises eines aktiven axialen Magnetlagers
1 Eisenkreis des Stators; 2 Welle; 3 Steuerspulen; 4 Rotor

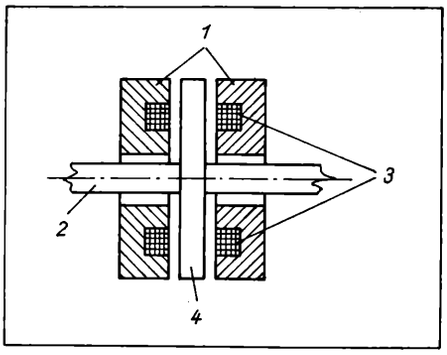


Bild 5
Problemstellung und Konzeption zur Realisierung einer aktiven radialen Magnetlagerung (stark vereinfacht)
◀

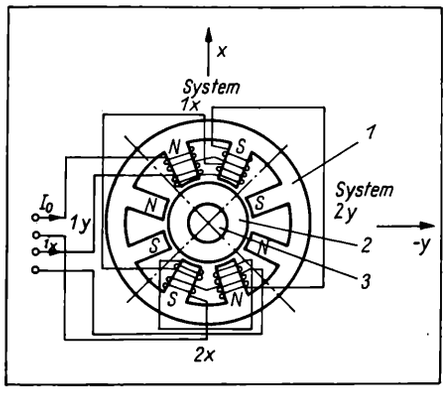


Bild 6
Magnetkreis mit Grunderregungs- und Steuerspulen
1 Statorring; 2 Rotor; 3 Welle

der Wegauslenkungen

$\delta_{1x} = \delta_0 - \Delta x, \quad \delta_{2x} = \delta_0 + \Delta x.$

Δx Verschiebung der Welle aus der Nullage bezüglich der x-Koordinatenrichtung

der Steuerdurchflutungen

$\Theta_{1x} = \Theta_0 + \Theta_x, \quad \Theta_{2x} = \Theta_0 - \Theta_x,$

Θ_0 Grunddurchflutung,
Θ_x Steuerdurchflutung,

und durch Verknüpfung der zwei einzelnen Kraftgleichungen einer Koordinatenrichtung (z.B. x) und Linearisierung in der Nähe des Arbeitspunktes (δ_0, Θ_0) erhält man die Kraftgleichung in der Umgebung des Arbeitspunktes zu

$$F_x = k_{\Theta x}\,\Theta_x + k_x\,\Delta x. \tag{2}$$

Mit

$\Theta_x = N_{St}\,i_x,$

N_{St} Steuerwicklungswindungszahl
i_x Steuerstrom,

lautet die endgültige Form der Kraftgleichung

$$F_x = k_i\,i_x + k_x\,\Delta x. \tag{3}$$

Entsprechend gilt für die Kraftgleichung der y-Koordinate

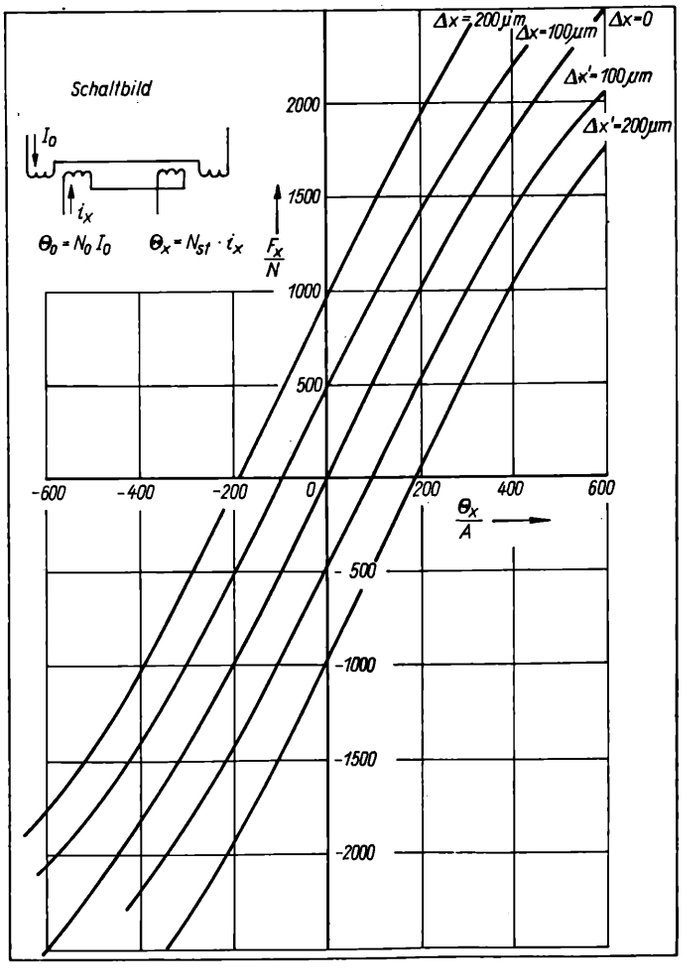
$$F_y = k_i\,i_y + k_y\,\Delta y. \tag{4}$$

Dabei sind:

k_i stationärer Übertragungsfaktor Kraft — Strom,
$k_x = k_y = k_s$ stationärer Übertragungsfaktor Kraft — Weg.

Ein reales Kennlinienfeld ist im Bild 7 gezeigt.
Durch das Differentialprinzip ist es möglich, mit einem Leistungssteller Auslenkungen in positiver und negativer Koordinatenrichtung zu erhalten. Außerdem bietet es den Vorteil sehr kleiner Linearisierungsfehler um den Arbeitspunkt.
Zur magnetischen Entkopplung des Magnetsystems für die x- bzw. y-Koordinate werden die in [4] beschriebenen Mittel genutzt. Dazu gehört die Polfolge entsprechend Bild 6 (NNSSNNSS) und der Einbau von Kurzschlußringen.

Bild 7. Funktion $F_x = f(\Theta_x)$; Δx = const.
Parameter: δ_0 = 0,5 mm
Δx = 0; ± 100 µm; ± 200 µm
Θ_0 = 600 A



2.1.3. *Mechanisches Verhalten der Wellenanordnung als Regelstrecke*

Die regelungstechnische Beschreibung der Regelstrecke erfolgt unmittelbar mit den Bewegungsgleichungen, die anhand des mechanischen Modells der jeweiligen Versuchswelle aufzustellen sind. Als Versuchswelle soll eine senkrecht angeordnete Welle nach Bild 8 vorgegeben sein, die am oberen Ende mit dem Magnetlager und am unteren Ende mit einem klassischen Pendelrollenlager gelagert wird. Die regelungstechnische Beschreibung der Regelstrecke erfolgt vorteilhafterweise über die Ermittlung der Bewegungsgleichungen mit Hilfe des Lagrangeschen Algorithmus unter folgenden Vereinfachungen und Vereinbarungen.

— Die Versuchswelle stellt einen starren Körper dar
— der Stator und der ihn tragende Teil des Versuchsaufbaus bilden ebenfalls ein starres System
— die Stellkräfte sollen an definierten Punkten angreifen
— das Pendelrollenlager am unteren Wellenende wird als raumfester Drehpunkt betrachtet; die bei einer Wellenauslenkung auftretenden Reibmomente werden vernachlässigt
— die Rotordrehzahl ist konstant
— die Unwucht der Welle ist zu vernachlässigen
— es werden nur kleine Abweichungen von der z-Achse zugelassen, so daß die Linearisierungen gelten

$\sin\alpha \approx \alpha; \quad \tan\alpha \approx \alpha; \quad \cos\alpha \approx 1;$
$\sin\beta \approx \beta; \quad \tan\beta \approx \beta; \quad \cos\beta \approx 1.$

Unter diesen Voraussetzungen werden die Bewegungsgleichungen der Welle entsprechend dem Lagrangeschen Algorithmus aufgestellt:

$$L = T - V, \tag{5}$$

$$T = T_{\text{Transl.}} + T_{\text{Rot.}}, \tag{6}$$

$$V = V_{\text{Pot.}}, \tag{7}$$

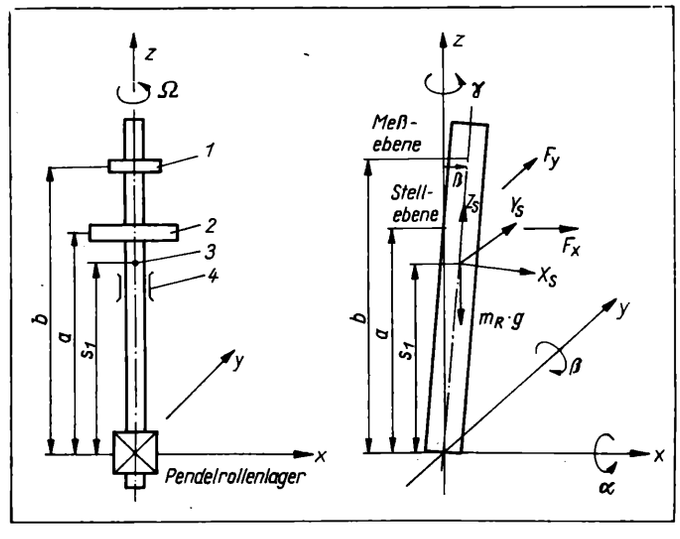


Bild 8. Prinzipieller Aufbau und mechanisches Modell des Rotors des aktiven magnetischen Radiallagers
1 Meßglied; 2 Magnetsystem; 3 Schwerpunkt; 4 Fanglager

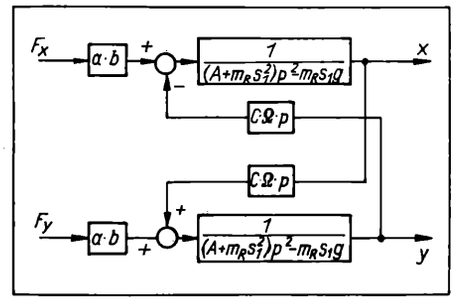


Bild 9
Signalflußbild der Regelstrecke

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial L}{\partial q_i}=Q_i \tag{8}$$

L Lagrangesche Funktion,
T Summe aller kinetischen Energien,
V Summe aller potentiellen Energien,
Q_i verallgemeinerte Kräfte,
q_i Koordinate mit $i = 1, 2, \ldots n$.

Die kinetische Energie (T) der Welle setzt sich aus ihrer Rotations- und Translationsenergie zusammen. Zur Bestimmung letzterer wird die Wellenmasse auf den Schwerpunkt bezogen, dessen Auslenkgeschwindigkeit die zweite bestimmende Größe der Translationsenergie ist.
Zur Bestimmung der Rotationsenergie des um die drei raumfesten Winkel α, β, γ drehbaren Körpers ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen raumfestem und körperfestem Koordinatensystem zu klären. Dann kann über eine Transformation aus dem körperfesten Drehvektor, der sich aus den körperfesten Trägheitsmomenten berechnen läßt, die Rotationsenergie in bezug auf die raumfesten Koordinaten ermittelt werden. Es ergeben sich für die Regelstrecke die folgenden Bewegungsgleichungen:

$$\begin{aligned}(A + m_R s_1^2)\,\ddot{\beta} - C\Omega\,\dot{\alpha} - m_R g s_1 \beta &= F_x a,\\ (A + m_R s_1^2)\,\ddot{\alpha} + C\Omega\,\dot{\beta} - m_R g s_1 \alpha &= -F_y a.\end{aligned} \tag{9}$$

A polares Trägheitsmoment der Welle,
C Massenträgheitsmoment um die Rotationsachse,
m_R Rotormasse.

Diese Gleichungen werden durch eine Ähnlichkeitstransformation auf die Bewegungsgrößen x, y umgeformt:

$$\beta \approx \tan\beta = \frac{x}{b};\quad -\alpha \approx -\tan\alpha = \frac{y}{b}.$$

Somit folgt

$$\begin{aligned}(A + m_R s_1^2)\,\frac{\ddot{x}}{b} + C\Omega\,\frac{\dot{y}}{b} - m_R g s_1 \frac{x}{b} &= a F_x,\\ -(A + m_R s_1^2)\,\frac{\ddot{y}}{b} + C\Omega\,\frac{\dot{x}}{b} + m_R g s_1 \frac{y}{b} &= -a F_y,\end{aligned} \tag{10}$$

bzw. nach Laplactransformation mit den Anfangsbedingungen

$$\begin{aligned}&x(t=0) = 0;\quad y(t=0) = 0,\\ &\dot{x}(t=0) = 0;\quad \dot{y}(t=0) = 0,\\ &(A + m_R s_1^2)\,p^2 x + C\Omega p y - m_R g s_1 x = ab F_x,\\ &(A + m_R s_1^2)\,p^2 y - C\Omega p x - m_R g s_1 y = ab F_y.\end{aligned} \tag{11}$$

Es ergibt sich für die Regelstrecke das Signalflußbild nach Bild 9.

2.1.4. Regelungstechnische Beschreibung des Systems Stelleinrichtung — Regelstrecke

Die Kraftgleichungen (3) und (4) zeigen, daß die von der Stelleinrichtung erzeugten Kräfte von der Größe der jeweiligen Wellenauslenkung abhängig sind. Die regelungstechnische Beschreibung der Stelleinrichtung muß deshalb im Zusammenhang mit den Bewegungsgleichungen der Welle durchgeführt werden. Nach einer Transformation der Lagergrößen x, y auf die Größen x', y' der Meßebene erhält man die Bewegungsgleichungen in der Form

$$\begin{aligned}(A + m_R s_1^2)\,p^2 x' + C\Omega p y' - m_R g s_1 x' &= k_s a^2 x' + ab k_i i_x,\\ (A + m_R s_1^2)\,p^2 y' - C\Omega p x' - m_R g s_1 y' &= k_s a^2 y' + ab k_i i_y.\end{aligned} \tag{12}$$

Wenn

$$A + m_R s_1^2 = F \quad \text{und} \quad m_R g s_1 + k_s a^2 = H \tag{13}$$

gesetzt wird, ergibt sich

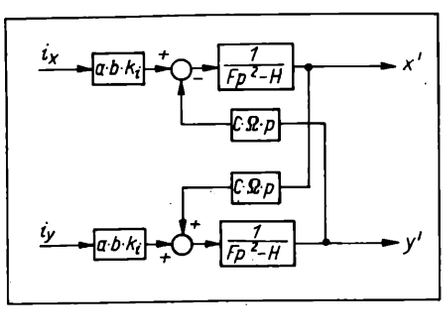


Bild 10
Vereinfachtes Signalflußbild des Systems Stelleinrichtung + Regelstrecke

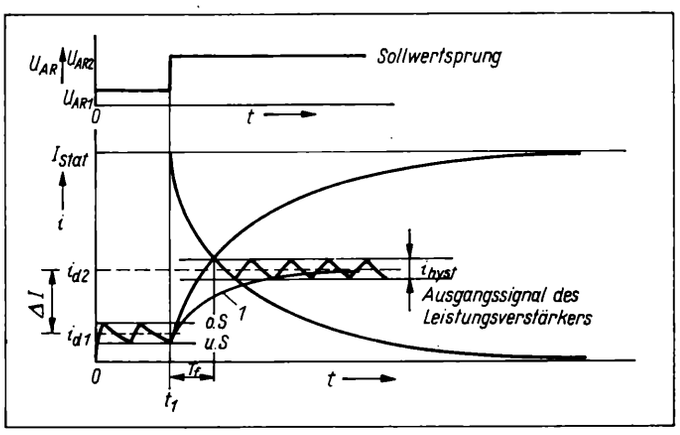


Bild 11. Wirkprinzip der Schnellerregung und Verhalten bei einem Sollwertsprung
U_{AR} Ausgangsspannung des Reglers; $I_{stat} = \frac{U_z}{R_{st}}$; o.S. obere Schaltschwelle; u. S. untere Schaltschwelle; 1 Stromanstieg ohne Schnellerregung; T_f Übergangszeit

$$\begin{aligned}(F p^2 - H)\,x' + C\Omega p y' &= ab k_i i_x,\\ (F p^2 - H)\,y' - C\Omega p x' &= ab k_i i_y\end{aligned} \tag{14}$$

bzw. in Matrizenschreibweise

$$\begin{pmatrix} F p^2 - H & C\Omega p \\ -C\Omega p & F p^2 - H \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = ab k_i \begin{pmatrix} i_x \\ i_y \end{pmatrix}. \tag{15}$$

Es ergibt sich das Signalflußbild des Systems Stelleinrichtung — Regelstrecke nach Bild 10. Man erkennt, daß die Bewegungen der betrachteten Fälle in x- und y-Richtung über den Anteil $C\,\Omega\,p$ auf Grund der Kreiselgesetzmäßigkeiten miteinander verkoppelt sind. Ab einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit des Rotors ist diese Verkopplung nicht mehr vernachlässigbar, und anstelle von zwei Eingrößenreglern ist ein komplizierter Mehrgrößenregler einzusetzen. Kann die Verkopplung vernachlässigt werden, ergibt sich bezüglich der Achsen x und y die Übertragungsfunktion

$$G(p)_x = \frac{x}{i_x} = G(p)_y = \frac{y}{i_y} = \frac{ab k_i}{F p^2 - H}. \tag{16}$$

Für die Regelung bezüglich der x- bzw. y-Achse werden zwei identische, aber voneinander unabhängige Regelkreise betrieben. Die folgenden Untersuchungen beziehen sich somit stets auf den Regelkreis einer Achse. Die gefundenen Aussagen gelten für die Regelkreise beider Achsen in gleichem Maße.
Entsprechend seiner Übertragungsfunktion hat das System Stelleinrichtung — Regelstrecke die beiden Polstellen

$$p_1 = +\sqrt{\frac{H}{F}};\quad p_2 = -\sqrt{\frac{H}{F}}. \tag{17}$$

Somit verfügt das System über einen Eigenwert mit positivem Realteil. Es ist strukturinstabil, da auch durch eine gezielte Wahl der Parameter, wie Abmessungen und Masseverteilung auf der Welle, keine Stabilität zu erreichen ist. Stabilität kann nur durch Einbau in einen geeignet strukturierten Regelkreis erreicht werden.

2.1.5. Leistungsverstärker

Der Leistungsverstärker stellt das Bindeglied zwischen Regler und Stelleinrichtung dar. Er hat das Reglerausgangssignal unter Verwendung einer Hilfsenergie auf einen für die Stelleinrichtung notwendigen Pegel zu verstärken und die notwendige Ansteuerleistung bereitzustellen. Tafel 1 enthält einige wichtige Anforderungen an Steller für aktive Magnetlager. Aus dieser Sicht kommen 4-Quadranten-Transistorpulssteller in die engere Wahl. Durch eine unterlagerte Stromregelung soll idealerweise eine steuerbare Stromquelle

Tafel 1. Übersicht der wesentlichsten Anforderungen an den Leistungsverstärker

Sachverhalt	Anforderung
Reglerausgangssignal: Spannung Eingangssignal der Stelleinrichtung: Strom	Spannungs-Strom-Wandlung
Differentialprinzip der Magnetsysteme	Bereitstellung positiver und negativer Ströme
Hochdynamisches Regelproblem	Hochdynamische Stromänderung
Erzeugung konstanter Kräfte	Gleichsignalübertragung
Dauerbetrieb	Hoher Wirkungsgrad

realisiert werden. Eine ideale Stromquelle hat einen unendlich großen Innenwiderstand, d.h., die Größe des Belastungswiderstandes hat keinen Einfluß auf die Einprägung des Laststromes, die Zeitkonstante des Lastkreises hat keinen Einfluß auf die Stromänderungsgeschwindigkeit. Besonders im Hinblick auf die begrenzte Schaltgeschwindigkeit des realen Stellers können diese idealen Bedingungen nicht vorausgesetzt werden. Die realen Bedingungen werden besser mit dem Prinzip der Schnellerregung beschrieben (Bild 11).

Ohne unterlagerte Stromregelung erreicht der Strom nach einem Schaltvorgang einen Endwert i_{d2}, wenn an die Steuerspule die Spannung u_{d2} angelegt wurde. Bei Einsatz der Stromregelung wird an die Steuerspule die Spannung u_z angelegt, für die gilt: $u_z \gg u_{d2}$. Hat nun der Spulenstrom die obere Schaltschwelle des Stromsollwertes $i_{d2} + i_{Hyst./2}$ erreicht, schaltet der Stromregler die Ansteuerimpulse an die andere Brückendiagonale um, bis die untere Schaltschwelle $i_{d2} - i_{Hyst./2}$ erreicht ist usw. Ist die Spannungsüberhöhung groß genug, wird nur der stark ansteigende Teil der den Stromanstieg beschreibenden e-Funktion genutzt. Damit kann die wirksame Zeitkonstante des Systems Leistungsverstärker — Stelleinrichtung stark verringert werden. Der Transistorpulssteller sollte somit als Leistungsverstärker am aktiven Magnetlager eine möglichst hohe Zwischenkreisspannung im Hinblick auf eine kurze Übergangszeit und eine genügend hohe Pulsfrequenz bzgl. einer geringen Welligkeit des Ausgangsstroms haben.

In bezug auf den Einsatz im Gesamtregelkreis des aktiven Magnetlagers erweist es sich als hinreichend, das System Transistorpulssteller — Steuerspulen als PT_1-Glied

$$G_Q(p) = \frac{k_Q}{1 + p\,T_Q} \tag{18}$$

anzunähern. Dabei ist T_Q von der Sprunghöhe der Stromänderung abhängig. k_Q ist der statische Übertragungsfaktor des Systems Transistorpulssteller — Steuerspule.

2.1.6. Meßeinrichtungen

Die Meßeinrichtungen im Regelkreis des aktiven Magnetlagers haben die Aufgaben, Bewegungsgrößen des Rotors berührungslos und möglichst verzögerungsfrei zu erfassen. Bei der Auswahl der Meßverfahren zur Erfassung der Rotorlage und des Bewegungszustandes können prinzipiell kapazitive, optische, pneumatische, akustische, galvanomagnetische, induktive und andere Wirkprinzipien angewendet werden. Tafel 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten berührungslosen Meßverfahren zur Bestimmung der Rotorlage. Bei der Entscheidung, welches der zusammengestellten Meßverfahren am aktiven Magnetlager zum Einsatz kommen soll, sind mehrere Gesichtspunkte zu betrachten. Neben der Gewährleistung der grundlegenden Vorstellungen über Meßbereich, Linearität, Auflösungsvermögen und Arbeitsgeschwindigkeit müssen eine geringe Temperaturdrift und Alterung, weitgehende Rückwirkungsfreiheit und minimale Beeinflussung von Funktion und Eigenschaften der Lagerstelle sowie hohe Störsicherheit und Zuverlässigkeit zu erreichen sein. Ebenso bedeutsam sind Gesichtspunkte, die die Verfügbarkeit von Teilkomponenten und Bauelementen, den Umfang vorhandener Erfahrungen zu Meßverfahren und dessen gerätetechnischer Umsetzung, den Realisierungsaufwand sowie die Bau- und Betriebskosten betreffen. Schließlich wurde das induktive Meßverfahren mit eisenbehaftetem Sensor als ein mögliches und auf Grund vorhandener Gerätetechnik mit relativ geringem Aufwand

Tafel 2. Zusammenstellung wichtiger berührungsloser Meßprinzipien zur Bestimmung kleiner Wege (Meßbereich einige µm bis einige mm)

Wirkprinzip	Nutzbare Effekte
Kapazitiv	• Meßkondensator zur Frequenzmodulation • Meßkondensator mit beweglicher Mittelelektrode (Umladeprinzip) • kapazitive Halbbrücke ohne Abgriff des Potentials vom Meßobjekt
Optisch	• mit faseroptischen Sensoren • mit CCD-Sensoren
Pneumatisch	• System Düse — Prallplatte (Differenzdruckmessung)
Akustisch	• Ultraschallreflexion (Laufzeitverfahren)
Induktiv	• eisenbehaftete Aufnehmer (induktive Halbbrücke, Trägerfrequenzverfahren) • eisenlose Aufnehmer (Wirbelstromverfahren)
Galvanomagnetisch	• Hallgeneratoren (Halbleiter und Permanentmagnet)

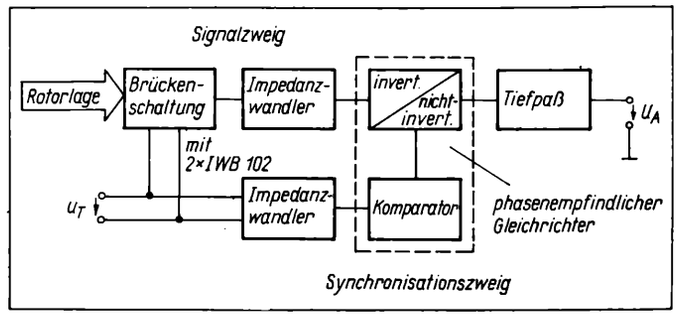


Bild 12. Blockschaltbild des induktiven Wegmeßsystems

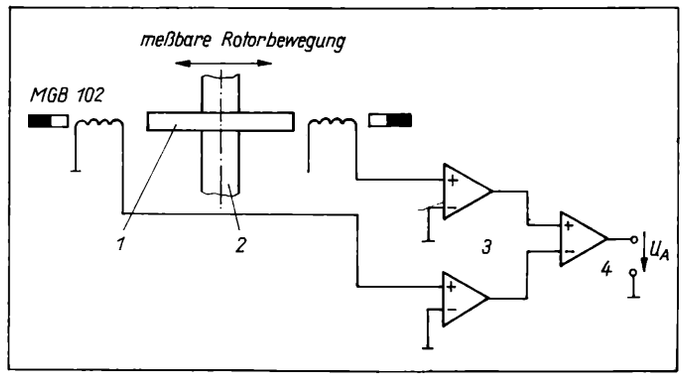


Bild 13. Übersichtsschaltplan des Geschwindigkeitsmeßsystems MGB 102 induktiver Geschwindigkeitsgeber.
1 Meßspur; 2 Welle; 3 Eingangsstufen; 4 Differenzsignalbildung

zu realisierendes Meßverfahren ausgewählt. Weitere Einzelheiten zu Meßeinrichtungen sind [7] (s. Teil 2) zu entnehmen. Bild 12 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Wegmeßsystems. Der Sensor beruht auf dem Prinzip des Querankergebers. Eine Änderung des Luftspaltes zwischen Geber und Meßobjekt führt zu einer Induktivitätsänderung. Da die Selbstinduktivität einer idealen Spule ihren Wechselstromwiderstand bestimmt, kann deren Änderung z.B. durch Einfügen in eine Wechselstrombrücke ausgewertet werden. Je Lagerkoordinate (x, y) werden zwei induktive Aufnehmer jeweils links und rechts vom Meßobjekt angeordnet, die den aktiven Teil einer Meßbrücke bilden. Deren Speisespannung wird entsprechend der mechanischen Schwingung des Meßobjektes in der Amplitude moduliert. Zusammen mit einer Auswerteelektronik ergibt sich ein Meßsystem, das auf Grund seines Wirkprinzips als Trägerfrequenzmeßverfahren bezeichnet wird.

Zunächst wurde eine Auswerteelektronik für 5 kHz Trägerfrequenz eingesetzt. Um die wirksame Zeitkonstante des Meßsystems zu verringern, waren Erhöhungen auf 20 bzw. 50 kHz erforderlich. Mit guter Näherung kann die Übertragungsfunktion zu

$$G_M(p) = \frac{k_M}{1 + p\,T_M} \tag{19}$$

k_M statischer Verstärkungsfaktor,
T_M Zeitkonstante des Meßsystems,

angenommen werden. Die statischen Kennlinien $U_A = f(\Delta x)$ weisen im interessierenden Bereich Linearität auf.

Bild 13 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Meßsystems zur Ermittlung der Auslenkungsgeschwindigkeit des Rotors als einer weiteren wichtigen Zustandsgröße. Ein Permanentmagnet erzeugt eine konstante magnetische Urspannung, die einen bestimmten Fluß Φ antreibt. Wird der Rotor in bezug auf den Aufnehmer bewegt, ändert sich der Luftspalt zwischen Sensor und Meßobjekt und somit der Fluß Φ. Durch diese Flußänderung wird in der Wicklung eine Spannung induziert, die der Wegänderung je Zeiteinheit, d.h. der Auslenkungsgeschwindigkeit des Rotors, proportional ist. In guter Näherung beschreibt die Übertragungsfunktion

$$G_v(p) = \frac{k_v}{1 + p\,T_v}, \tag{20}$$

k_v statischer Verstärkungsfaktor,
T_v Zeitkonstante des Geschwindigkeitsmeßsystems,

das regelungstechnische Verhalten des Meßsystems.

Entscheidungsprobleme der Elektroenergietechnik

E. Muschick; E. Pilz; F. Berger; Zittau

1. Anfänge und Entwicklung

Die Entwicklung der Elektroenergieversorgung ist wie die vergleichbarer Gebiete von vielfältigen technischen Entscheidungen begleitet worden. In den Anfangsjahren besaßen diese eine große Resonanz in der Öffentlichkeit, ohne dadurch für den Laien oder den Fachmann transparent gewesen zu sein.

Bereits die Entscheidung „Elektrizität" oder „Gas" als Energieträger einzusetzen war durch fehlende Informationen, emotionale Wertungen und Voreingenommenheiten belastet. Ebenso die Entscheidung zwischen Gleichstrom, Wechselstrom, Drehstrom oder einer Kombination dieser Stromarten für die städtische Versorgung. Zuweilen werden die Widerstände gegen den Wechsel- oder Drehstrom aus kommerziellen Motiven erklärt. Dies mag partiell zutreffen. Aber auch diese Interessen müssen sich nach der leistungsfähigsten Variante ausrichten. Also muß gerade auch hier die fehlende Information, der logische Fehlschluß oder die emotionale Wertung den Erkenntnisfortschritt behindert und damit schließlich zu kommerziellen Nachteilen geführt haben.

Voigt beschreibt diesen Umstand in [1]:

Edisons Ausspruch [2] aus dem Jahre 1889

„Es gibt keinen Grund, der die Verwendung von hochgespannten Wechselströmen, sei es im wissenschaftlichen oder im kommerziellen Bereich, rechtfertigen würde. Man benutzt sie lediglich, um an Investitionskosten für den Kupferdraht zu sparen. Ich persönlich würde wünschen, daß der Gebrauch von Wechselstrom völlig verboten würde. Er ist genauso unnotwendig, wie er gefährlich ist ... Ich kann daher keinen Grund für die Einführung eines Systems sehen, das keinerlei Zukunftsaussichten hat, jedoch ungeheure Gefahren für Leben und Eigentum bringt. Ich habe stets und eindringlich vor Leitungsnetzen für hochgespannten Wechselstrom zur elektrischen Beleuchtung abgeraten, nicht nur wegen der damit verbundenen Gefahr, sondern auch wegen ihrer allgemeinen Unverläßlichkeit und ihrer Unbrauchbarkeit in größeren Leitungsnetzen" ist in gewisser Hinsicht aufschlußreich. Die Aussage, daß es keinen Grund gäbe, hochgespannten Wechselstrom zu verwenden, steht im Widerspruch zum zweiten Satz. Die Ersparnis an Investitionskosten ist doch ein Grund. Ausgeschlossen darf werden, daß *Edison* die technischen Gegebenheiten nicht übersehen konnte. Es war wohl die unsystematisch vorliegende Problemdarstellung und der Ersatz objektiver Informationen durch emotionale Wertungen, die zu diesem gravierenden Schluß geführt haben.

Nicht in jedem Fall wirkt sich der subjektive Eingriff in technische Entscheidungen hinderlich aus. *Fischinger* [3] bestimmte die Übertragungsspannung der ersten 110-kV-Freileitung Europas von Lauchhammer über Gröditz nach Riesa zunächst mit 60 kV und wählte dann schließlich die höhere Spannung, weil sie nur unwesentlich höhere Kosten zur Folge hatte. Schon zwei Jahre später mußte die Übertragungsleistung erheblich vergrößert werden, und es bedeutet nun einen beträchtlichen Vorteil 110 kV gewählt zu haben.

Auch die von *Fischinger* festgelegten Abstände dieser Freileitung — sie waren etwa halb so groß wie die zuvor in Amerika bei der 110-kV-Freileitung Sohshona-Boulder gewählten — konnten nicht durch Erfahrungen oder hinreichende technische Untersuchungen begründet werden. Diese Abstände sind noch heutigentags akzeptabel. Dem Fachmann sind solche Entscheidungsergebnisse bekannt. Sie regen den Gedanken an, daß der Entscheidungsvorgang eine größere Rationalität erhalten könnte, wenn er sich auf formalen Grundlagen abstützen würde. Der mathematische Ansatz müßte auch und gerade dort von Vorteil sein, wo subjektive Einflüsse vonnöten sind.

2. Formale Grundstruktur einer Entscheidung

Eine Entscheidung fordere die Wahl einer (Entscheidungs-) Variante E_i aus einer Menge $|E$ zulässiger Varianten. Diese Menge kann prinzipiell unendlich viele Varianten enthalten, wird aber in dem betrachteten Gebiet häufig aus endlich vielen Varianten $E_1, E_2, \ldots E_i, \ldots, E_n$ bestehen oder als solche endliche Menge betrachtet werden. Jede dieser Entscheidungsvarianten führe auf ein Ergebnis mit der quantitativen Bewertung e_i. Wird nun ein größtmöglicher Ergebniswert angestrebt — kleinstmöglicher Aufwand z.B. kann unschwer durch negative Bewertungen analog behandelt werden — so ist das Ziel der Wahl

$$Z = \max_i e_i . \tag{1}$$

Optimal wäre danach eine Entscheidungsvariante, die zu diesem Ziel nach (1) gehört. Da jedoch im allgemeinen mehrere Varianten diese beste Bewertung haben können, sei $|E_0$ die Menge der optimalen Varianten mit dem erwünschten Sonderfall, daß sie nur ein Element E_{i_0} enthält. Mithin kann diese einfachste Entscheidung nach der Beziehung

$$E_0 = \{E_{i_0} | E_{i_0} \in |E \wedge Z = \max_i e_i\} \tag{2}$$

gefällt werden. Kann das System oder der Prozeß, auf das/den die Entscheidung zielt, verschiedenen Zuständen ausgesetzt sein, erhalten die Varianten E_i vektorielle Bewertungen. Das Grundmodell der Entscheidung ist nunmehr die eindimensionale Matrix $[(e_{ij})]$, deren Spaltenvektoren den eingangs geschilderten einfachsten Fall als Sonderfall enthalten. Das Ziel nach (1) muß aber durch eines ersetzt werden, das den Zeilenvektor in einer Weise berücksichtigt, die der Entscheidungssituation angepaßt ist.

Als Ziele sind beliebig viele wählbar, die abhängig vom Grad des Optimismus des Entscheidenden zwischen

$$Z_{MM} = \max_i \min_j e_{ij} \tag{3}$$

und

$$Z_H = \max_i \max_j e_{ij} \tag{4}$$

liegen. In der Technik sind bei praktischen Entscheidungen bisher nur Ersatzziele, die zwischen Z_{MM} nach (3) und

$$Z_{BL} = \max_i \sum_{j=1}^{n} e_{ij} q_j \tag{5}$$

q_j Wahrscheinlichkeit des Auftretens des j-ten Zustandes des Systems oder des Prozesses

liegen, verwandt worden.

Die Wahl des Ersatzzieles war zunächst ausschließlich dem subjektiven Ermessen des Entscheidenden überlassen. Bemühungen, dies zu ändern, stießen auf Widerstand, weil der scheinbar sinnvolle Entscheidungsspielraum eingeschränkt wurde.

Zunächst war man bemüht, mehrere praktisch bewährte Ersatzziele zu finden, die zu derselben optimalen Entscheidungsvariante führten und wählte dann die mehrheitlich berührte Variante. Schließlich wurde aber sichtbar, daß sich im Extremfall die Ungewißheit der Eingangsparameter lediglich in die Ungewißheit der Wahl des Ersatzzieles transformiert hatte.

Nicht selten traf man die Auffassung, daß ein Problem mit unscharfen Eingangsdaten zwangsläufig eine unscharfe Lösung haben müsse und man damit alle „sinnvollen" Ersatzziele anwenden soll. Aus der so gewonnenen Lösungsmenge sei nach einer subjektiven „Letztentscheidung" zu wählen.

Nun konnte man aber zeigen, daß die einzelnen Ersatzziele den Entscheidungssituationen unterschiedlich angepaßt, also nicht gleichberechtigt, sind. Eine derartige Lösungsmenge egalisiert unzulässig

Prof. Dr. sc. techn. *Edwin Muschick* ist o. Professor und Dr.-Ing. *Ekkehard Pilz* wissenschaftlicher Oberassistent an der Sektion Elektroenergieversorgung und Anlagenautomatisierung der Technischen Hochschule Zittau, Dr.-Ing. *Frank Berger* ist Abteilungsleiter im VE Kombinat Verbundnetze Energie.

Literatur

[1] *Earnshaw, S.:* On the Nature of the Molecular Forces. Transactions of the Cambridge Philosophical Society. Bd. 7, London (1839), S. 97–112

[2] *Glaser, G.:* Die magnetische Lagerentlastung bei Uhren. Die Uhr, Bielefeld 17 (1963) 17, S. 75–79

[3] *Hartmann, U.:* DRP 217312. Braun AG, 1909

[4] *Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.:* DD-WP F160 260109/9 Magnetkreisanordnung für radiale aktive Magnetlager/(72) – (22) 84-03-05

[5] *Zurmühl, R.:* Praktische Mathematik für Ingenieure und Physiker. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1965, S. 561

[6] *Schubert, Th.:* Beitrag zur Realisierung eines aktiven radialen Magnetlagers. Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1985

[7] *Jugel, U.:* Beitrag zur Realisierung einer aktiven radialen Magnetlagerung. Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1985

EA 5788

und gibt damit keine gute Grundlage für eine solche „Letztentscheidung".
Sehr früh gab es Versuche, die Ersatzziele durch Wichtungsfaktoren zu kombinieren, wobei *Hodges* und *Lehmann* [4] dies mit einer Linearkombination über den Parameter ν, der das Vertrauen zu einer gewählten Verteilungsfunktion ausdrückte, taten:

$$Z_{HL} = \max_i \left[\nu \sum_{j=1}^{n} e_{ij} q_j + (1 - \nu) \min_j e_{ij} \right]. \tag{6}$$

Alle diese Versuche wiesen zunächst keinen Weg, solche Parameter zu bestimmen, und verlagerten damit das Problem auf den Praktiker.
Alle Entscheidungen mit ungewissen Zuständen sind in der Art zu treffen, indem bei der Beziehung nach (2) statt des Zieles Z das jeweilige Ersatzziel gesetzt wird.
Einen Ansatz zwischen den Standpunkten nach (3) und (5) zu vermitteln, findet man auf restriktivem Wege mit

$$|E_0 = \left\{ E_{i0} | E_{i0} \in |E \wedge Z_{BM} = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_{j=1}^{n} e_{ij} q_j \right\} \tag{7}$$

mit

$$I_1 := \{ i | i \in \{1, \ldots, m\} \wedge e_{i0j0} - \min_j e_{ij} \leqq \varepsilon_{zul} \wedge e_{i0j0} = \max_i \min_j e_{ij} \}$$

$$I_2 := \{ i | i \in \{1, \ldots, m\} \wedge \max_j e_{ij} - \max_j e_{i0j} = \varepsilon_i \wedge \varepsilon_i = e_{i0j0} - \min_j e_{ij} \}.$$

Auch hier ist das zulässige Risiko ε_{zul} nicht aus der Aufgabe zu gewinnen, sondern muß durch den Entscheidenden festgelegt werden. Der Algorithmus liefert aber ein vorhandenes Risiko ε_i und man kann bedenken, ob dieses tragbar ist.
Ein flexibles, durch quantitative Eigenschaften des Entscheidungsproblems gesteuertes Kriterium erhält man, indem statt des Vertrauensparameters ν in (6)

$$V_v^w(\alpha)_i = \frac{\tilde{M}_v^w(\alpha) - x_1}{\sum_{j=1}^{n} h_j x_j - x_1} \tag{8}$$

x_1 Minimalwert der Datenreihe
$x_1, x_2, \ldots, x_j, \ldots, x_n$
geschrieben wird.
$\tilde{M}_v^w(\alpha) = \sum_{j=1}^{n} \tilde{h}_{vj}^w(\alpha) x_j$ ist der kleinste Mittelwert aufgrund eines Stichprobenergebnisses $h_1, h_2, \ldots, h_j, \ldots h_n$ einer Stichprobe mit dem Umfang v.
Für nicht zu kleine Werte der Entscheidungsrealisierungen w und des Stichprobenumfanges v gilt für die Häufigkeiten

$$h_{v,1-\alpha}^w = \bar{p} + z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\bar{p}_1 (1 - \bar{p}_1)}{w}} \tag{9}$$

und bei $j = 2, \ldots, n$

$$\underline{h}_{v,j,\frac{\alpha}{2}}^w = \underline{p}_j + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\underline{p}_j (1 - \underline{p}_j)}{w}} \tag{10}$$

sowie

$$\bar{h}_{v,j,\frac{\alpha}{2}}^w = \bar{p}_j + z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\bar{p}_j (1 - \bar{p}_j)}{w}} \tag{11}$$

$\bar{h}, \bar{p}; \underline{h}; \underline{p}$ obere bzw. untere Grenze von Häufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten
$p_1, \ldots, p_j \ldots, p_n$ theoretische Wahrscheinlichkeiten
$z_{1-\alpha}, z_{\frac{\alpha}{2}}$ bzw. $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ Quantile der standardisierten Normalverteilung entsprechender Ordnung.

$\tilde{h}_{v,j}^w(\alpha)$ erhält man zu

$$\tilde{h}_{v,j}^w(\alpha) := \min \left[\max \left\{ 0{,}1 - \sum_{t=1}^{j-1} \tilde{h}_{v,t}^w(\alpha) - \sum_{t=j+1}^{n} \tilde{h}_{v,j,\frac{\alpha}{2}}^w \right\}, \bar{h}_{v,j,\frac{\alpha}{2}}^w \right].$$

Es gilt dabei immer $0 \leqq \tilde{h}_{v,j}^w(\alpha) \leqq 1$ und

$$\sum_{j=1}^{n} \tilde{h}_{v,j}^w(\alpha) = 1.$$

Gegen ein unvertretbares Risiko kann man sich wie im Kriterium nach (8) oder in anderer Weise absichern.
Dieser quantitativ bestimmte Vertrauensfaktor $V_v^w(\alpha)_i$ hat die Eigenschaft

$$V_v^w(\alpha)_i \begin{cases} = 1 \text{ für } v \to \infty, w \to \infty \\ = 0 \text{ für } v \to 0 \vee w \to 1. \end{cases}$$

Damit ist ein Entscheidungsalgorithmus definiert, der sich dem natürlichen Verhalten anpaßt.
Wird ein von den Entscheidungsalternativen unabhängiger Vertrauensfaktor gewünscht, um ihn analog zu ν in (6) zu verwenden, kann dafür der Mittelwert

$$V_v^w(\alpha)_m = \frac{\max_i V_v^w(\alpha)_i + \min_i V_v^w(\alpha)_i}{2} \tag{13}$$

angesetzt werden.
Entscheidungen auf dem Gebiet der Elektroenergieversorgung sind in besonderem Maße gekennzeichnet einerseits durch
— hohen Einsatz finanzieller und materieller Mittel
— weitgefächerte Konsequenzen
— langfristige Wirksamkeit, verbunden mit einer oft nur schwer möglichen Korrektur der Entscheidung

andererseits aber durch
— einen langen Zeitraum zwischen Entscheidung und Abschluß ihrer Realisierung, der eine sichere Kenntnis aller zum Zeitpunkt der Entscheidungsrealisierung wirkenden Einflüsse auf das Entscheidungsergebnis in der Regel ausschließt.

Dieser offensichtliche Konflikt zwischen hohem Gewicht der Entscheidung und der Notwendigkeit, sie unter Ungewißheit zu fällen, machte Entscheidungshilfen in Form mathematischer Modelle notwendig, die rationale Entscheidungen auf der Basis ungewisser Informationen erlauben. Daraus resultiert, daß formale Hilfsmittel sehr früh in der Elektroenergietechnik angewandt wurden.
Gerade hier sind
— Gewinn
— Schaden
— Investitionsumfang
— Arbeitskräfteaufwand
— Betriebskosten

oder auch Parameter, wie
— Zuverlässigkeit
— Personengefährdung

zuweilen Zufallsvariable.
Zur mathematischen Beschreibung genügt die Kenntnis der Dichte $f(x)$ bzw. deren Wahrscheinlichkeitsverteilung $F(x)$ und die Zahl n der Realisierungen des „zufälligen" Wertes in einem gegebenen Zeitintervall. Bild 1 demonstriert dies an dem bekannten „Beanspruchungs-Festigkeits"-Problem von Anlagen oder Bauelementen. x_1 stellt dabei die „zufällige" Variable „Beanspruchung" (z.B. Wind-, Kurzschlußstrombeanspruchung usw.) mit der Dichte ihres Auftretens $f_1(x_1)$ und x_2 die ebenfalls „zufällige" Variable „Stehvermögen" mit der Dichte $f_2(x_2)$ dar. $e(x)$ beschreibt die Zielfunktion „auftretender Schaden bei Überschreitung des Stehvermögens durch die Beanspruchung" (als negativer Gewinn dargestellt).
Besteht die Entscheidung darin, aus verschiedenen Varianten mit unterschiedlichem Nennstehvermögen eine bei zufälliger Beanspruchung optimale Variante zu finden, so müssen als Zielfunktion

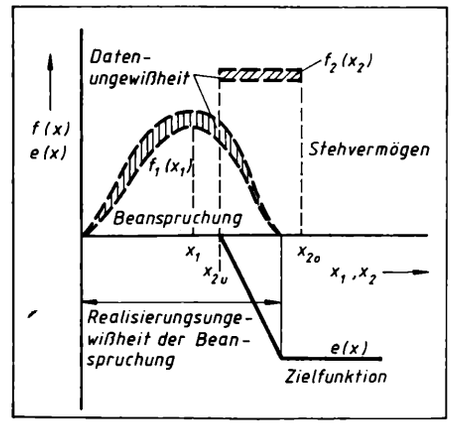


Bild 1. Beanspruchung — Festigkeits-Verhalten

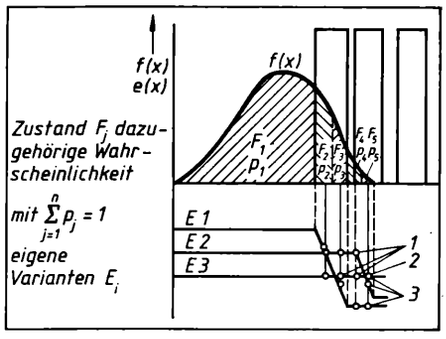


Bild 2. Variantenvergleich
1 Konsequenzen e_{ij}; *2* *MM*-Lösung; *3* „ungünstige" Konsequenzen

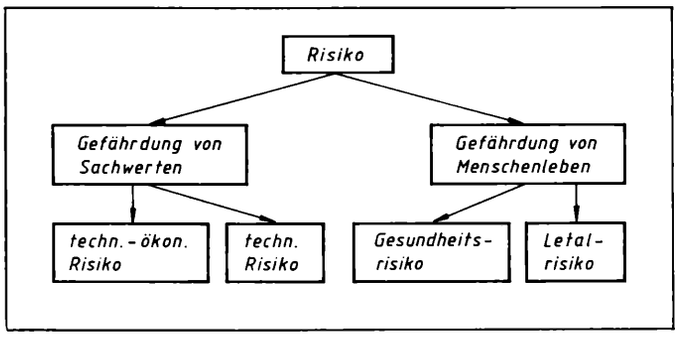


Bild 4. Risikoarten

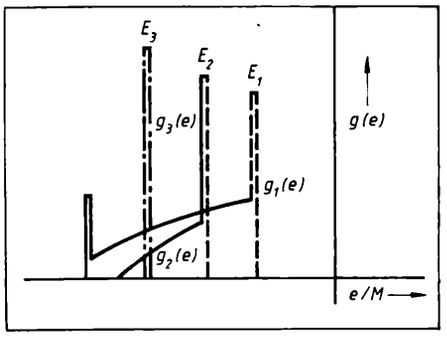


Bild 3. Gewinndichten $g(e)$

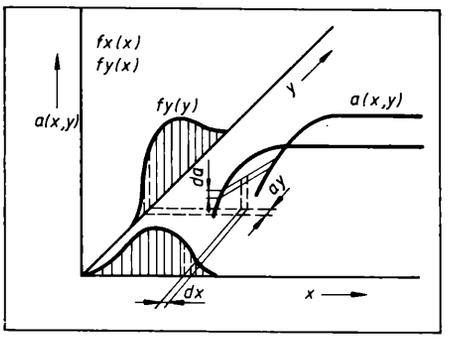


Bild 5. Schadensausmaß $a(x, y)$

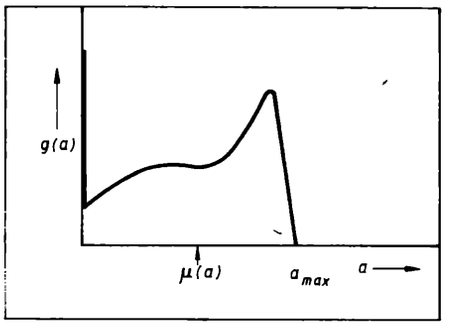


Bild 6. Schadensdichte $g(a)$

der bei verbesserter Festigkeit sich erhöhende Investitionsaufwand und der sich verkleinernde Schadensumfang im Störungsfall berücksichtigt werden. Bild 2 zeigt die Zusammenhänge für drei Varianten *E1*, *E2* und *E3*. Zur einfacheren Betrachtung wird die zufällige Variable x in endlich viele Intervalle geteilt und das Auftreten der Variablen x in einem solchen Intervall als jeweils ein Zustand F_j mit der Auftretenswahrscheinlichkeit p_j aufgefaßt. Gesucht wird eine optimale Variante aus *E1*, *E2* und *E3* nach den genannten Entscheidungskriterien.

Ist nun die Zahl w der sich in einem Betrachtungszeitraum T einstellenden Realisierungen bekannt, so kann, um die Realisierungsungewißheit zu berücksichtigen, folgender Weg beschritten werden:

Da für eine technische Entscheidung nur die einzelnen Zielwerte und deren Auftretenswahrscheinlichkeiten benötigt werden, wird unter Elimination von x aus $f(x)$ eine „Gewinndichte" $g(e)$ ermittelt. Bild 3 zeigt dies für das im Bild 2 vorgestellte Beispiel.

Die Dichte der Mittelwerte nach w-Realisierungen ergibt sich durch w — 1fache Faltung der Funktionen $g_1(e)$, $g_2(e)$ und $g_3(e)$, wobei sich die Auftretenswahrscheinlichkeit der Randwerte wesentlich verkleinert. Wird ein Entscheidungsrisiko zugelassen, so können diese Randwerte vernachlässigt werden. Der zu vernachlässigende Bereich ist abhängig von der Risikobereitschaft α des Entscheidenden und berechnet sich zu

$$\int_{-\infty}^{e_\mu} e q^{(w)}(e)\,\mathrm{d}e = \alpha \int_{-\infty}^{\infty} e\, q^{(w)}(e)\,\mathrm{d}e = \alpha\,\mu^{(w)}(e). \qquad (14)$$

Auf die so ermittelten Zielfunktionen und deren gestutzte Dichtefunktionen der Varianten E_i wird grundsätzlich das *MM*-Kriterium nach (3) angewendet. Dies führt ab einem aufgabenrelevanten Wert der Realisierungszahl w automatisch zum *BL*-Kriterium gemäß (5).

Außer dem Entscheidungsrisiko berühren gegebenenfalls auch andere Risikoarten Entscheidungen.

3. Technische Entscheidungen und Risiko

Jedes technische System ist durch eine endliche Lebensdauer gekennzeichnet. Dabei kann diese durch innere Verschleißerscheinungen, aber auch durch äußere Einflüsse bestimmt sein. Insbesondere dann, wenn der Systemausfall plötzlich auftritt und mit dem Freisetzen größerer Energiemengen oder Schadstoffen verbunden ist, kann dies zu einer Gefährdung von Menschen und Anlagen führen. Deshalb ist für solche Systeme schon im Planungsstadium eine Abschätzung der möglichen Gefährdungen notwendig, und oft wird vom Gesetzgeber eine Überprüfung in vorgeschriebenen Zeitabständen während des Betriebes gefordert.

Als Bewertungsgröße eignet sich dazu besonders das Risiko.

Der Begriff des Risikos ist in der Technik bisher nicht eindeutig definiert.

Bedingt durch die stürmische Entwicklung der Kernenergietechnik und die Inbetriebnahme zahlreicher Kernreaktoren in den 60er und 70er Jahren und die damit verbundenen hohen Gefahrenpotentiale war es notwendig geworden, das Betriebsrisiko vorab zu schätzen und zu technischen Entscheidungen hinzuzuziehen.

Hier wird unter Risiko die Möglichkeit des Auftretens eines unerwünschten Ereignisses, zum Beispiel eines Schadens, verstanden. Kennzeichnend sind

1. das Ausmaß A und
2. die Wahrscheinlichkeit p dieses Ereignisses.

Da ein kleineres Schadensausmaß mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eher akzeptiert wird als ein großes Ausmaß, ist das technische Risiko als Produkt aus Schadensausmaß A und dessen Auftretenswahrscheinlichkeit p definiert:

$$R = p\,A. \qquad (15)$$

Die auftretenden Schädigungen können dabei materieller Natur sein, aber auch den Menschen betreffen.

Bild 4 zeigt die möglichen Risikoarten.

Im Bereich der Elektroenergietechnik kann eine Gefährdung von Sachwerten auch zu einer Gefährdung von Menschenleben führen. Eine Zusammenfassung beider Schädigungsarten zu einem monetären Ausdruck ist zwar wünschenswert, jedoch aus humanitären Gründen noch nicht gelungen.

Die teilweise in kapitalistischen Ländern praktizierte und aus dem Versicherungsgeschäft übernommene Zuordnung eines bestimmten Wertes je nach Alter, Geschlecht, Ausbildung und Stellung zu einem Menschen wird unter sozialistischen Bedingungen abgelehnt, obwohl auch hier ein Grenzwert existiert, den die Gesellschaft für den einzelnen aufzubringen in der Lage ist, um das ihn umgebende Risiko zu beseitigen. Durch die weitreichende Allgemeingültigkeit des obigen Begriffs des Risikos bietet sich dieser als Beurteilungsgrundlage an und gibt die Möglichkeit des Vergleiches über fachspezifische Grenzen hinaus.

Besonders in der Elektroenergietechnik gibt es weiterhin eine Reihe von Anwendungsfällen, in denen die Angabe von Schadenswerten in Störsituation nicht oder noch nicht möglich ist (z.B. Schaden durch Versorgungsausfall) bzw. in denen die Ökonomie eine untergeordnete Rolle spielt (z.B. Versorgung wichtiger Objekte). Dann ist einzig die Schadenswahrscheinlichkeit das Maß für das zu erwartende Risiko.

Oft ist weder der genaue zu einer Störsituation führende innere Wirkungsmechanismus (z.B. Verschleißerscheinungen) bekannt, noch sind die äußeren Einflußfaktoren eines Systems a priori exakt bestimmbar. In solchen Fällen hilft die propabilistische Betrachtungsweise. Sind die Beanspruchungsdichte $f_x(x)$ einer Beanspru-

chung x und die Verteilung $F_y(y)$ der dazugehörigen Stehfestigkeit y angebbar (Störungsstatistik, Messung, Schätzung), so ist das technische Risiko die mittlere Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Beanspruchung die Festigkeit übersteigt:

$$R = p(x \geqq y) = \int_{x=-\infty}^{\infty} f_x(x)\, F_y(x)\, \mathrm{d}x. \tag{16}$$

Damit entspricht das technische Risiko der Ausfallwahrscheinlichkeit in einer bestimmten Zeit.
Ist das Schadensausmaß $a(x, y)$ angebbar, so stellt das technisch-ökonomische Risiko den Schadenserwartungswert

$$R = \int_{x=-\infty}^{\infty} f_x(x) \int_{y=-\infty}^{x} a(x, y)\, f_y(y)\, \mathrm{d}y \tag{17}$$

dar.
Für viele technische Belange genügt die Angabe dieses Mittelwertes als Vergleichsgröße. In einer Reihe von Anwendungsfällen (z.B. Berücksichtigung der Zahl der Wiederholungen) ist jedoch die Kenntnis der Schadensdichte $g(a)$ notwendig. Unter Verwendung der im Bild 5 dargestellten Zusammenhänge gilt für die Wahrscheinlichkeit, daß das unerwünschte Ereignis einen Schadenswert zwischen a_0 und $a_0 + \mathrm{d}a$ nach sich zieht:

$$\mathrm{d}^2 p = f_x(x)\, f_y(y)\, \mathrm{d}x\, \mathrm{d}y \tag{18}$$

und mit

$$y = b(x)\big|_{a(x,y)=a_0}$$

$$\mathrm{d}p = \mathrm{d}a \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x)\, f_y[b(x)] \frac{\mathrm{d}x}{\left|\frac{\partial a}{\partial y}\right|_{y=b(x)}}. \tag{19}$$

Damit ist die Schadensdichte $g(a)$:

$$g(a) = \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}a} = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x)\, f_y[b(x)] \frac{\mathrm{d}x}{\left|\frac{\partial a}{\partial y}\right|_{y=b(x)}}.$$

Bild 6 zeigt den qualitativen Verlauf der Schadensdichte $g(a)$ für die im Bild 5 dargestellten Zusammenhänge.
Für einen Variantenvergleich sind nur das im Bild 6 gezeigte Schadensausmaß a und dessen Wahrscheinlichkeit relevant. Je nach Auswahlkriterium wird dabei der ungünstigste Wert (a_{max}), der Erwartungswert oder ein anderer geeigneter Repräsentant zum Vergleich herangezogen.
Da technische Schadensfälle auch mit personellen Gefährdungen verbunden sein können, wurde die Größe dieser Gefährdungen zunächst durch die zeitorientierte Gefährdungswahrscheinlichkeit p_G

$$p_G = p_A\, p_F = \frac{n t_A}{T} \frac{m t_F}{T} \tag{20}$$

bestimmt, wobei

$$p_A = \frac{n t_A}{T}$$

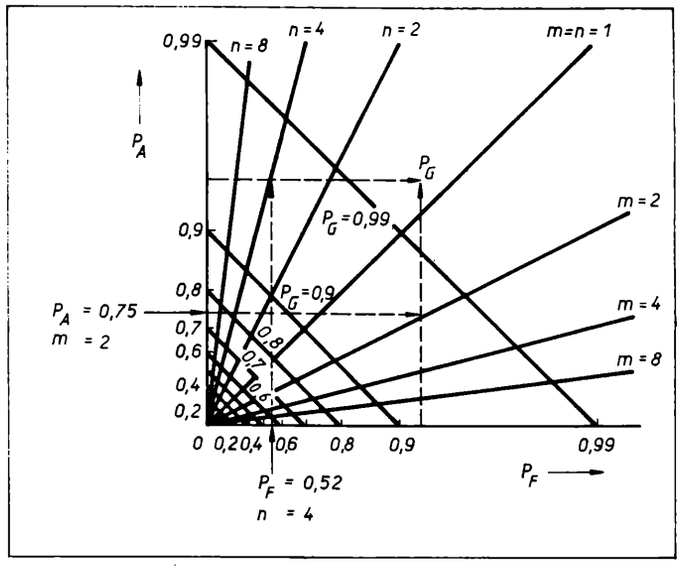


Bild 7. Nomogramm zur Bestimmung der ereignisorientierten Gefährdungswahrscheinlichkeit

die Anwesenheitswahrscheinlichkeit im Gefährdungsbereich während der Betrachtungszeit T und

$$p_F = \frac{m t_F}{T}$$

die Fehlerwahrscheinlichkeit darstellt.
m ist dabei die Zahl der Fehler, n die Zahl der Anwesenheiten, t_F die Dauer eines Fehlers und t_A die Dauer einer Anwesenheit. Genauere Analysen, insbesondere in [6], haben jedoch gezeigt, daß (20) zu groben Fehlern führen kann. Eine bessere Beschreibung der Gefährdung kann mittels der von *Bauer* [7] angegebenen ereignisorientierten Gefährdungswahrscheinlichkeit vorgenommen werden:

$$p_G = 1 - (1 - p_F)^n (1 - p_A)^m. \tag{21}$$

(21) stellt eine Näherung für die Summe der Wahrscheinlichkeiten mindestens einer Gefährdung im Zeitraum T dar.
Bild 7 zeigt ein Nomogramm zur Bestimmung der ereignisorientierten Gefährdungswahrscheinlichkeit.
Für sehr kleine Fehler- und Anwesenheitswahrscheinlichkeiten, wie sie oft in der Elektroenergieversorgung gegeben sind, kann die ereignisorientierte Gefährdungswahrscheinlichkeit näherungsweise aus

$$p_G = n p_F + m p_A \tag{22}$$

berechnet werden.
Bei einer Variantenauswahl oder der Überprüfung bestehender Anlagen muß generell die Verringerung der Personengefährdung im Vordergrund stehen. Die Festlegung eines globalen Gefährdungsgrenzwertes, wie in einigen Ländern angestrebt, ist beim derzeitigen

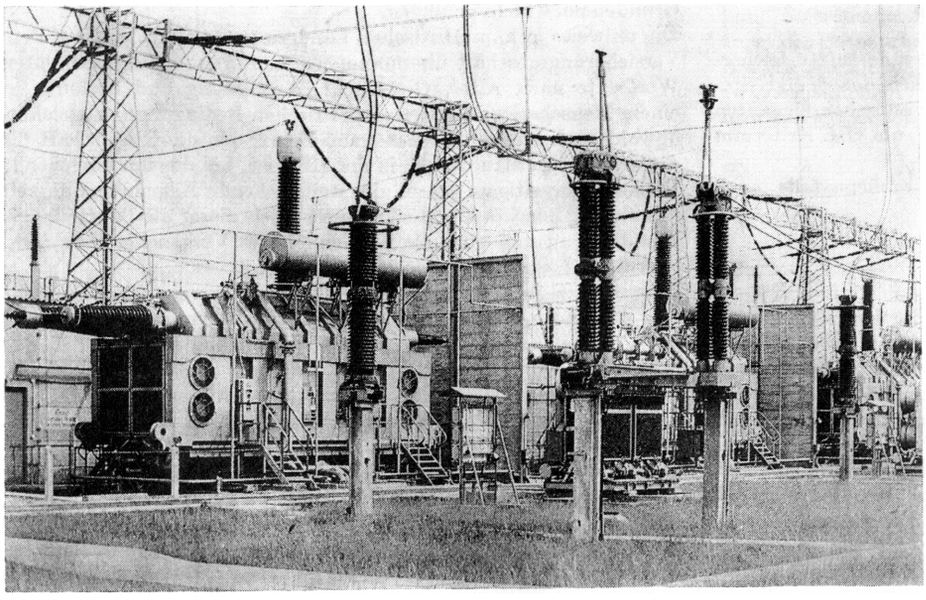


Bild 8. 380/220-kV-Einphasen-Sparstelltransformatoren

Stand der Erkenntnis und der Gesetzgebung nicht möglich. Die berechneten Gefährdungswahrscheinlichkeiten sind jedoch zum Risikovergleich verschiedener Varianten oder gegenüber einer allgemeinen Gefährdung geeignet.

4. Anwendungen im Übertragungsnetz

Die erste modellierte und berechnete Entscheidung betraf sechs 380/220-kV-Einphasen-Sparstelltransformatoren gemäß Bild 8, deren mechanische Kurzschlußfestigkeit bei Fehlern im Nahbereich überschritten war.
Das Ergebnis der Rechnung nach Abschn. 2 ergab, daß der Weiterbetrieb der Transformatoren ökonomisch vertretbar ist und einen hohen Nutzen hat. Die Gefährdungsrate von $10^{-6,3}$ je Transformator und Jahr wurde akzeptiert, nachdem zusätzliche Maßnahmen zum Schutz ergriffen waren.
Die Entscheidung ist 1972 getroffen, 1977 überprüft und 1978 bestätigt worden. 1986 wurde die Entscheidung für zwischenzeitlich veränderte Bedingungen [8] berechnet und erneut bestätigt.
Einige der seither im Nahbereich aufgetretenen Kurzschlüsse lagen wesentlich über dem Nennstehvermögen der Transformatoren. Es ist dabei kein unerwünschtes Ereignis aufgetreten.
Selbst im Fall eines Schadens würden die ökonomischen Auswirkungen weit unter den erzielten Effekten bleiben.
1975 wurden die Sicherheitsvorkehrungen für Transformatoren in 380- und 220-kV-Umspannwerken untersucht. Für den Brandschutz standen einzeln oder kombiniert ein mobiles Löschgerät (Bild 9), die Ölauffanggrube (Bild 10) und die Sprühwasseranlage (Bild 11) zur Wahl.

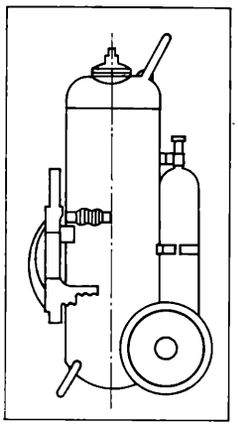


Bild 9. Fahrbares Pulverlöschgerät (Prinzipdarstellung)

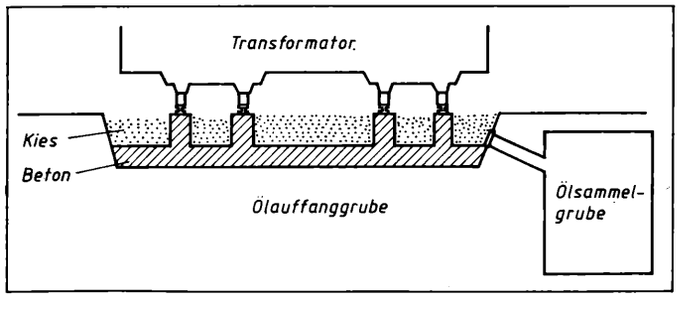
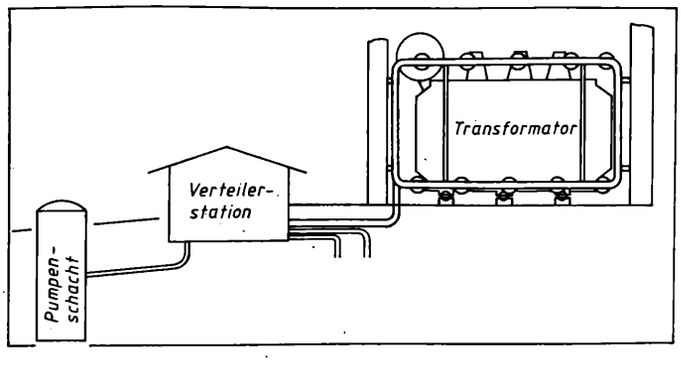


Bild 10. Transformator mit Ölauffanggrube (Prinzipdarstellung)

Bild 11. Stationäre Wassersprühanlage (Prinzipdarstellung)



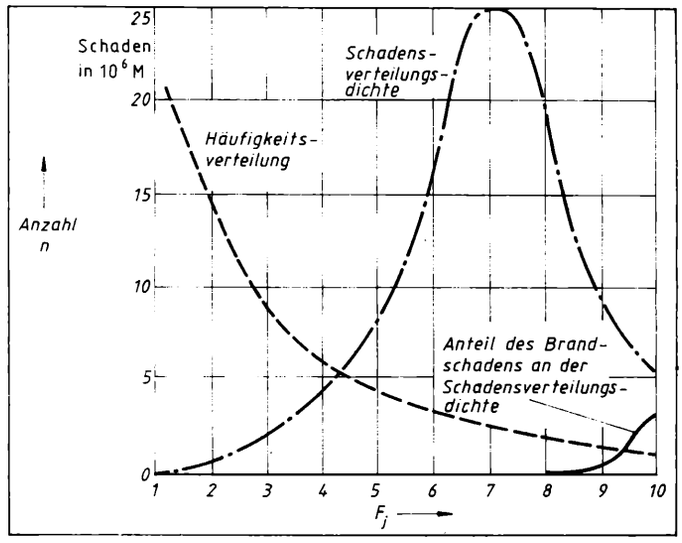


Bild 12. Approximierte Dichtefunktionen der Transformatorenausfälle in 816 Gerätejahren

Allein die Aufbereitung des Problems ergab — wie dies häufig der Fall ist — wesentliche Einblicke in die Zusammenhänge. Bild 12 zeigt Dichtefunktionen über die Ölaustrittsmengen F_j, die auf den Werten 1 bis 10 normiert wurden [9]. Brände mit großen Auswirkungen waren nur bei den seltenen Fällen großer Ölaustrittsmengen zu erwarten.
Die Personengefährdung ergab sich als von Brandschutzmaßnahmen weitgehend unabhängig, weil sie durch die dem Brand vorausgehende Explosion bedingt ist.
Der Standard TGL 8788 wurde geändert und das ermittelte Sicherheitskonzept erfolgreich angewandt.
1977 wurde die Arbeit zur Entwicklung und Anwendung eines strategischen Instandhaltungsmodells abgeschlossen [10]. Die durchgeführten Untersuchungen bezogen sich auf Freileitungen und Trenner des Übertragungsnetzes, wobei speziell für 110- und 220-kV-Trenner der bis dahin verbindliche Instandhaltungsturnus von 730 Tagen auf 1460 Tage verlängert werden konnte. Durch diesen neu gewählten Zyklus ergab sich ein Nutzen von 0,5 Mio M/a und eine Arbeitszeiteinsparung von 5000 h/a, bezogen auf alle 110- und 220-kV-Trenner des Übertragungsnetzes zum damaligen Zeitpunkt.
Bedingt durch Planungsungewißheiten im Übertragungsnetz können Entscheidungen über den weiteren Netzausbau außerhalb des volkswirtschaftlichen Aufwandsminimums liegen. Ein strategisches Planungsmodell auf der genannten Grundlage [11] wurde 1981 am Beispiel der 380/220-kV-Versorgung eines Gebietes der DDR (Bild 13) erprobt. Dazu wurde die variable Entwicklung der zu installierenden Kraftwerksleistung, ökonomischer Bewertungsgrößen sowie möglicher Standorte eines geplanten Kernkraftwerkes berücksichtigt. Daraus ist nach (7) die optimale Variante für den bis 1992 erforderlichen Netzausbau berechnet worden, wobei die bis 2010 zur Verfügung stehenden jeweils günstigsten Netzausbaufolgen zur Anpassung an bestehende Ungewißheiten berücksichtigt werden konnten.
Dieses Planungsergebnis wurde ab 1982 der langfristigen Ausbauplanung des entsprechenden Versorgungsgebietes zugrunde gelegt.
Wegen der großen Bedeutung, die Schaltgeräten zukommt, war es notwendig, methodische Grundlagen zur statistischen Bestimmung hoher Kurzschlußstrombeanspruchungen von Leistungsschaltern [12] zu erarbeiten und besonders im Zeitraum 1980 bis 1986 vielfältige Untersuchungen durchzuführen, welche zu folgenden Anwendungen bzw. Empfehlungen führten [13]:

- In der 380-kV-Anlage eines zentralen Umspannwerkes wurde mit Einführung einer Längstrennung eine mögliche Überschreitung des Ausschaltvermögens einiger Leistungsschalter bis maximal 19% vermieden (Bild 14). Für den Fall der Aufhebung dieser Längstrennung infolge wartungs- und instandhaltungsbedingter Sonderschaltzustände wurden Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Bereich von $10^{-4,0}...10^{-2,3}$ berechnet, die akzeptiert werden konnten.

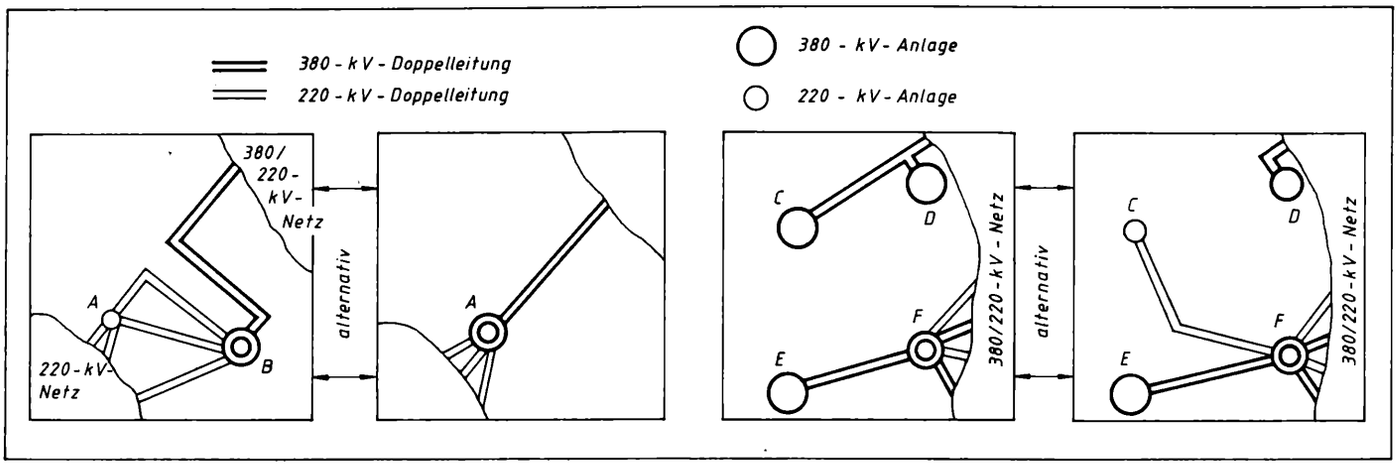


Bild 13. Varianten der Netzeinbindung, über die eine Entscheidung zu treffen war (*A*, *B*, *C*)

- In der 220-kV-Anlage eines anderen zentralen Umspannwerkes wurde über einen kurzen Zeitraum das Ausschaltvermögen einiger Leistungsschalter bis zu maximal 14% überschritten. Eine erste Abschätzung führte zu einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-2,3}$. Die daraufhin durchgeführte genauere Berechnung mit dem „flexiblen Kriterium" nach (8) ergab als optimale Lösung den Weiterbetrieb der Leistungsschalter mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-5,2}$, der auch praktiziert und ohne negatives Vorkommnis abgeschlossen wurde.
- In der 220-kV-Anlage eines Umspannwerkes waren höchstmögliche Überschreitungen bis zu 16% absehbar. Die berechneten Ereignishäufigkeiten für den einzelnen Leistungsschalter lagen im Bereich $10^{-3} \cdots 10^{-2}$ Ereignisse je Jahr. Dieses Ereignisniveau konnte nicht getragen werden. Ein Leistungsschalter mußte ausgewechselt und mit einer speziellen Netzschutzlösung die Beanspruchung der übrigen Leistungsschalter auf unkritische Werte reduziert werden.

Tafel 1 vermittelt zu diesen beschriebenen Anwendungsfällen einen Gesamtüberblick mit den dabei erreichten Effekten.
Zur breiteren Nutzung dieser Methoden ist für den Bürocomputer A 5120 ein Programm erarbeitet worden, das derartige Entscheidungen im Dialogbetrieb vorbereitet.
Auf Anwendungsfälle in den Mittel- und Niederspannungsebenen sei lediglich hingewiesen [14].

Tafel 1. Anwendungsfälle

Problem-/Aufgabenstellung	Methode	Nutzeffekt	
Weiterbetrieb nicht kurzschlußfester Großtransformatoren	Strategische Modellierung[1])	1973–1978 ab 1979	30 Mio M 2,5 Mio M/a
Sicherheitsvorkehrung für Großtransformatoren	Strategische Modellierung	1975 ab 1976	7,0 Mio M durch Vermeidung von Nachrüstungen 0,3 Mio M/a für durchschnittlichen jährlichen Zugang an neuen Transformatoren
Schaltgeräteinstandhaltung	Strategisches Instandhaltungsmodell	ab 1978	0,5 Mio M/a und 5000 h/a Arbeitszeiteinsparung
Langfristige Netzausbauplanung eines Versorgungsgebietes	Strategisches Planungsmodell	nach 1980	11,9 Mio M
Ausschaltvermögen von Leistungsschaltern	Strategische Modellierung und statistische Abschätzung	1980	3 Mio M (anteiliger Nutzen) für eine 380-kV-Anlage 0,5 Mio M für eine 220-kV-Anlage

[1]) Als strategisch wird hier in Anlehnung an die Spieltheorie ein Modell auf der formalen Grundlage des Abschnitts 2 bezeichnet.

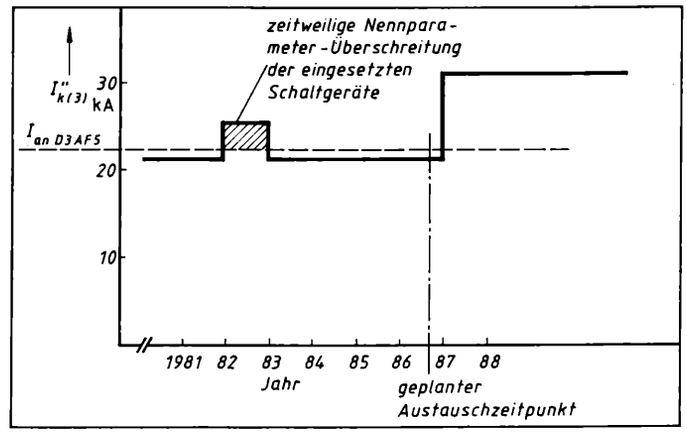


Bild 14. Entwicklung der maximalen Kurzschlußströme

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Anwendung der beschriebenen Entscheidungsmethoden wurde insbesondere für Probleme der Planung, Bemessung, Auslastung und des Betriebes von Elektroenergieanlagen des Übertragungsnetzes der DDR geprüft, und es wurden teilweise zugeschnittene methodische Grundlagen aufgrund der konsequenten Ausrichtung auf praktisch relevante Entscheidungsprobleme entwickelt. Die Erfahrungen mit den praktizierten Anwendungsfällen, die durchweg positiv sind und einen ökonomischen Nutzen in der Größenordnung von mehreren 10^7 M erbrachten, rechtfertigen, die im Rahmen der vorgestellten wissenschaftlichen Arbeiten entstandenen Ergebnisse weiterhin auf konkrete Probleme der Elektroenergieübertragung anzuwenden.
Bezüglich auftretender kritischer Beanspruchungssituationen ist es sinnvoll, Anwendungen vorrangig auf technische, technologische oder ökonomische Zwangssituationen zu begrenzen, die technisch und/oder zeitlich abgegrenzt und in ihren Auswirkungen überschaubar bleiben.
Künftige Arbeiten lassen einen Lösungsbeitrag in folgenden Richtungen erwarten:

- Mehrere Ziele in Entscheidungen einzubeziehen ist noch immer mit erheblicher Willkür belastet. Auch Entscheidungen mit subjektiven Nutzinformationen müssen noch weiter bedacht werden. Hier sind theoretische Zugänge aufmerksam zu verfolgen und ggf. zu nutzen.
- Risikobetrachtungen und sequentielle Entscheidungen können weiter für praktische Anwendungen zugeschnitten werden. Das Gebiet technischer Operativentscheidungen oder auch Zeitmangelentscheidungen ist noch weitgehend unbedacht.
- Durch die Entwicklung leistungsfähiger Arbeitsplatzcomputer werden globale Entscheidungsprogramme möglich und nützlich. Zugleich sind spezielle Programme für besonders wichtige Probleme nötig.
- Für die praktische Anwendung müssen Belastbarkeit mit Betriebsströmen, Spannungsfestigkeit, optimale Nennparameter, Lebensdauer- und Innovationsentscheidungen sowie Bedarfsprognosen weiter bedacht werden.

Industrieroboter mit elektrischen Antrieben

V. Račck, Bratislava (ČSSR)

Die Industrieroboter sind bis jetzt meistens für Schweißarbeiten eingesetzt worden. Das ist nicht nur durch sich monoton wiederholende Arbeitsoperationen bedingt, sondern insbesondere unter dem Gesichtspunkt zu sehen, den Menschen (Schweißer) von der Arbeit in ungesunder Arbeitsumgebung zu befreien. Gegenwärtig öffnet sich ein weiteres Gebiet für die Roboter — die Montage.
Die Antriebseinheiten für Roboter, die für Schweiß- und Montagearbeiten vorgesehen sind, müssen sehr dynamisch sein. Dazu müssen die Motoren ein hohes Drehmoment bei extrem niedrigen Drehzahlen (in Größenordnung 0,1 U/s), kleines Trägheitsmoment und kleine Masse haben.
Das gewählte System des elektrischen Antriebs beeinflußt den Gesamtaufbau des Roboters. Das soll an verschiedenen Robotertypen mit elektrischen Antrieben gezeigt werden.

1. Roboter mit Gleichstrom-Hochmomentenmotoren

Einer der ersten tschechoslowakischen Industrieroboter mit elektrischen Antrieben ist der Roboter PR32E. Seine kinematische Struktur ist in sphärischen Koordinaten ausgedrückt. Der Manipulationsraum ist im Bild 1 dargestellt. Der Roboter hat 5 Freiheitsgrade mit Punkt-(PTP) und Bahnsteuerung (CP). Die wiederholbare Positioniergenauigkeit beträgt $\pm 0{,}5$ mm.
Es werden Antriebe mit gesteuerten Gleichrichtern und Gleichstromhochmomentenmotoren angewendet. Diese Motoren haben im Grunde eine klassische Konstruktion mit Trommelanker. Sie wurden ursprünglich für Vorschubantriebe von Werkzeugmaschinen entwickelt. Die Ausführung des Roboters ist im Bild 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Konstruktion des Roboters sehr robust ist, daß er seine Antriebsmotoren trägt und mit ihrer verhältnismäßig beträchtlichen Masse manipulieren muß. Die Gesamtmasse des Roboters allein beträgt 1350 kg, mit dem Steuersystem 1900 kg. Er arbeitet mit einem Schweißmanipulator zusammen. Der Manipulator hat eine Tragkraft von 200 kg und 2 Freiheitsgrade, die Positioniergenauigkeit beträgt $\pm 0{,}2$ mm. Dieser Schweißarbeitsplatz ist für Lichtbogenschweißen in Schutzgasatmosphäre (CO_2) vorgesehen. Er wird für mittelgroße Schweißobjekte mit der Masse bis 200 kg angewendet.

2. Roboter mit Schrittmotoren

Ein weiteres Entwicklungsstadium sind die Roboter mit Schrittmotoren. Die Anwendung dieser Antriebe wäre sehr vorteilhaft, wenn man den Schrittverlust ausschließen kann, da dann die Antriebe ohne Geschwindigkeitsgeber und ohne Lagegeber arbeiten; beide Größen werden von der Motorschrittzahl abgeleitet. Die ursprüngliche Aversion gegen Schrittmotoren für Roboterantriebe ist dadurch bedingt, daß Resonanzeffekte vorkommen können. Dieses Problem kann durch Stromodulation des Motors erfolgreich gelöst werden.
Ein Vertreter des Schweißroboters mit Schrittmotoren ist der automatisierte Schweißarbeitsplatz 7 RL-2, der in Zusammenarbeit von ZTS Detva und ZTSEVU Nova Dubnica entwickelt wurde (Bild 3). Das System enthält 5 Freiheitsgrade. Seine kinematische Struktur ist in kartesischen Koordinaten (Achsen X, Y, Z) ausgedrückt (Bild 4). Am Endpunkt der Z-Achse sind zwei weitere Antriebe und zwar für die Rotation des Schweißbrenners (ε) sowie für die Einstellung des Drehradius (r) angebracht.
Das Schweißobjekt ist am Operationsmanipulator befestigt, der das Objekt durch seine zwei Freiheitsgrade (α, γ) in die Lage einstellen kann, die für das Schweißen am günstigsten ist.
Bild 5 zeigt den Arbeitsplatz mit einem weiteren Hilfsmanipulator und zwei Tischen. Dieser Platz dient dem Austausch der Schweißobjekte am Operationsmanipulator sowie der Vorbereitung des folgenden Objekts.
Die Antriebseinheiten sind mit Schrittmotoren realisiert. Die linearen kinematischen Einheiten (Achsen X, Y, Z) haben Kugelspindelantrieb. Die Schrittmotoren werden im offenen Kreis betrieben und aus einer Transistorstromquelle in Brückenschaltung gespeist. Die Schrittmotoren werden mit sinusförmigen Spannungen angesteuert. Dadurch ist es möglich, daß Schwingungen von Motoren in Resonanzzonen und bei Synchronismusausfall vermieden werden. Ebenso dient eine große Reserve beim dynamischen Moment der Verhinderung von Schrittverlust. Wenn es trotzdem ausnahmsweise zum Schrittverlust käme, kehrt der Roboter nach Beendigung jedes Arbeitszyklus zum Anfangspunkt zurück, und es wird eventuell eine Korrektur durchgeführt.
Kernstück des Steuersystems ist der Prozessor JPR 13 mit einem Operationsspeicher von 4 k · 16 bit. Das System kann folgende Bewegungen durchführen: Gerade in der Ebene, Gerade im Raum, Kreis in der Ebene, Kreis im Raum und Spirale in der Ebene. Die Programmierung wird durch Teach-in realisiert. Der Arbeitsplatz ist für Schweißarbeiten in der Schutzgasatmosphäre (CO_2) bestimmt. Die maximalen Abmessungen der Schweißteile sind: 1000 mm × 1000 mm × 800 mm, ihre maximale Masse beträgt 250 kg.
Der Einsatzbereich entspricht dem des Roboters PR 32 E. Im Konstruktionsvergleich ist zu erkennen, daß sich das Maximum der Masse in der unbeweglichen Tragkonstruktion befindet, während die beweglichen Roboterteile den beträchtlich kleineren Teil der Masse bilden. Die Gesamtmasse des Arbeitsplatzes einschließlich der Manipulatoren und des Steuersystems beträgt 3000 kg. Die Masse des Roboters, d.h. die der beweglichen Teile, beträgt nur 400 kg.

3. Roboter mit Gleichstrom-Scheibenläufermotoren

Die besten Ergebnisse wurden bisher bei Robotern erreicht, die als Antriebssystem einen Gleichstrom-Scheibenläufermotor haben und von einem Transistorumrichter gespeist werden. In der ČSSR werden die Scheibenläufermotoren aus der Produktion der Rumänischen Sozialistischen Republik verwendet. Ihre technischen Parameter sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Prof. Dr. *Vladimir Račck* ist Leiter des Lehrstuhls für elektrische Antriebe an der TH Bratislava.

Literatur

[1] *Voigt, H.:* Nachdenkliches und Heiteres aus den ersten Jahrzehnten der Elektrotechnik. Leipzig: R. Voigtländers Verlag 1925
[2] *Weber, R. L.; Mendoza, E.:* Kabinett physikalischer Raritäten. Braunschweig/Wiesbaden: Verlag Vieweg u. Sohn 1979
[3] *Fischinger, E. G.:* Die Entstehungsgeschichte der ersten 100-kV-Anlage in Europa, in Lauchhammer. ETZ 48 (1927) 21, S. 713–716 und ETZ 48 (1927) 22, S. 759–763
[4] *Hodges, Jr. I. L.; Lehmann, E. L.:* The Use of Previons Experience in Reaching. Statistical Decision Ann. Math. Statistics (1952) 23, S. 396–407
[5] *Hänsel, V.:* Ein allgemeines Entscheidungskonzept zur Bearbeitung mehrzielorientierter Informationsmangelprobleme. Dissertation. IH Zittau 1984
[6] *Bauer, H.:* Die Gefährdung unter Berücksichtigung der Fehlerbereitschaft Energietechnik, Leipzig 25 (1975) 12, S. 551–556
[7] *Bauer, H.:* Zur Berechnung der Gefährdungen infolge teilweiser Gleichzeitigkeit von Fehler und Bereitschaft. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 5, S. 234–240
[8] *Stegemann, G.:* Wahrscheinlichkeitsorientierte Methoden zur Ermittlung und Bewertung von Kurzschlußstrombeanspruchungen in Elektroenergiesystemen. Dissertation B. IH Zittau 1986
[9] *Machoy, M.:* Zur Optimierung der Sicherheitsvorkehrungen bei Transformatoren in 380- und 220-kV-Umspannwerken. Wissenschaftliche Berichte der IH Zittau, Zittau (1976) 155
[10] *Gumz, T.; Kreul, J.; Werner, F.-J.:* Ergebnisse der Arbeit mit dem strategischen Instandhaltungsmodell der Ingenieurhochschule Zittau. ELEKTRIE, Berlin 31 (1977) 5, S. 261–263
[11] *Berger, F.; Würtz, H.:* Lösung eines Entscheidungsproblems zum optimalen Ausbau des 380/220-kV-Netzes mit Hilfe des strategischen Planungsmodells. das verbundnetz 19 (1984) 38/39, S. 966–974
[12] *Stegemann, G.; Pscherer, L.:* Statistische Bestimmung hoher Kurzschlußstrombeanspruchungen von Leistungsschaltern. das verbundnetz 20 (1985) 41, S. 999–1005
[13] *Stegemann, G.; Berger, F.:* Stochastische Bestimmung und Bewertung von Kurzschlußstrombeanspruchungen in Elektroenergieübertragungsanlagen. CIGRE-Symposium „Hohe Ströme". Brüssel (Belgien) v. 3.–5. 6. 1985, Beitrag 310-02
[14] *Muschick, E.; Pscherer, L.:* Konventionelle und nichtkonventionelle Entscheidungen in der Elektroenergieübertragung und -versorgung. Beitrag zum 9. KDT-Fachkolloquium der IH Zittau, Zittau v. 18.–19. 11. 1986
[15] *Muschick, E.; Müller, P. H.:* Entscheidungspraxis – Ziele, Verfahren, Konsequenzen. Berlin: Verlag Technik 1987
[16] *Pscherer, L.; Pilz, E.:* Entscheidungsfindung bei kleinen Wiederholungszahlen. Sektionsbericht E 9/30/85, IH Zittau 1985

EA 5940

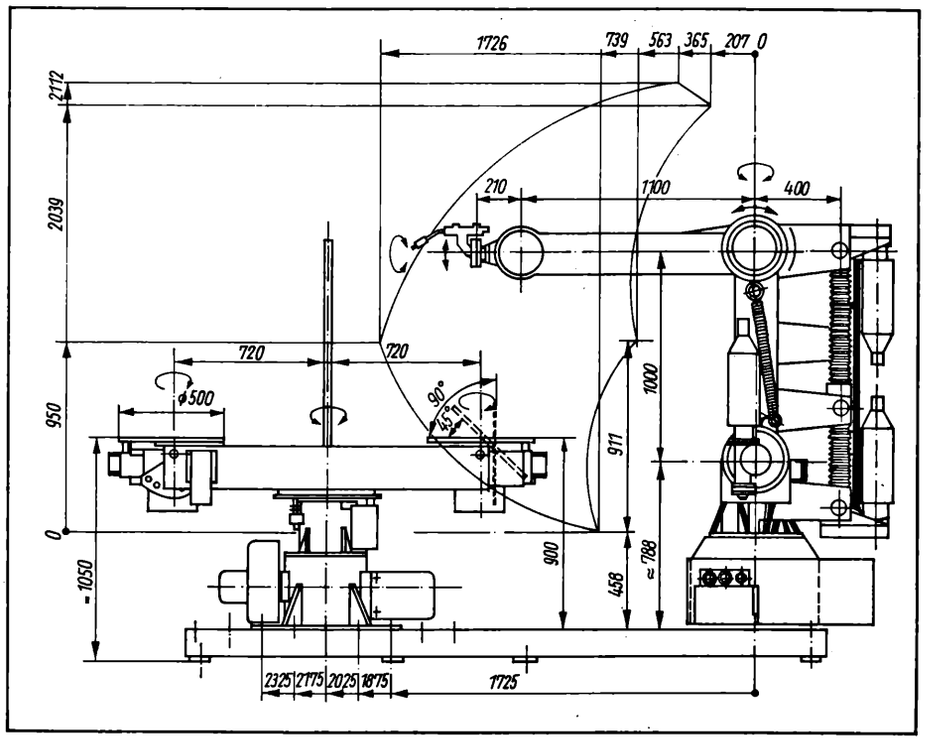


Bild 1. Schweißarbeitsplatz mit Roboter PR 32 E

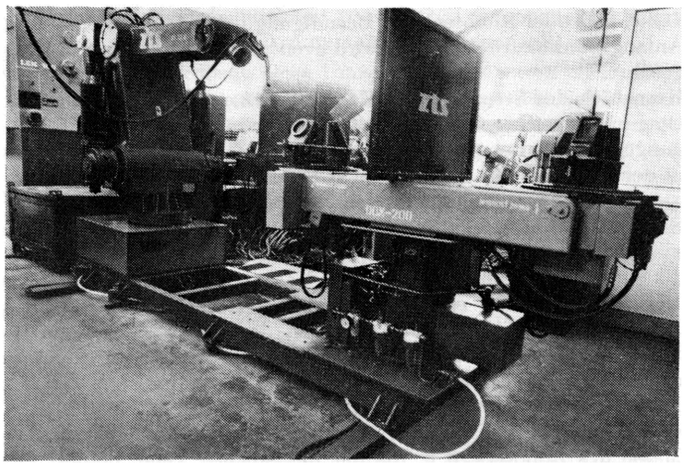


Bild 2. Industrieroboter PR32E

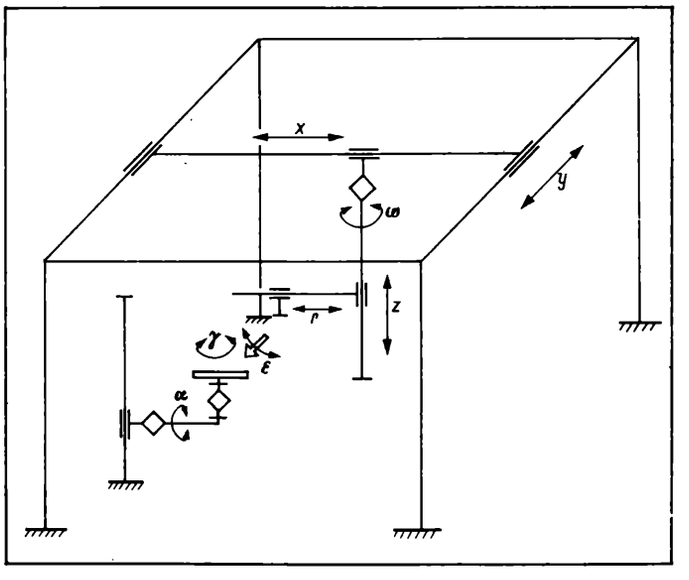


Bild 4. Kinematisches Schema des Roboterarbeitsplatzes 7RL2 ▶

Aus den technischen Parametern ist ersichtlich, daß die Motoren eine hohe Momentenüberlastung (4- bis 7,5fach) und ein sehr kleines Trägheitsmoment haben, woraus die kleine mechanische Zeitkonstante resultiert. Ebenso ist die niedrige Motormasse sehr günstig. Von Nachteil ist die Nenndrehzahl von 3000 U/min. Dieses Problem wird durch Anwendung von Wellgetrieben, die die Übersetzungszahl $i = 100$ bis 200 haben, gelöst.

Dieses Getriebe hat in der ČSSR das Forschungs- und Entwicklungsinstitut ZTS in Zvolen entwickelt und produziert. Ihre technischen Parameter sind in der Tafel 2 angegeben.

Die Scheibenläufermotoren in Verbindung mit Wellgetrieben erreichen die geforderte niedrige Betriebsdrehzahl. Für die Motornenndrehzahl 3000 U/min sind die Ausgangsdrehzahlen 0,48 s^{-1} (bei $i = 104$) bis 0,24 s^{-1} (bei $i = 207$). Es ist wichtig, daß

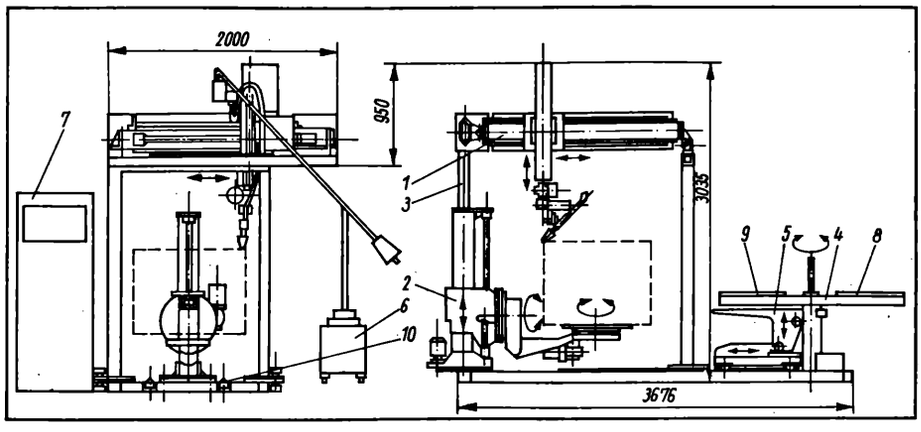


Bild 3. Automatisierter Schweißarbeitsplatz 7RL2

Bild 5. Automatisierter Schweißarbeitsplatz 7RL2

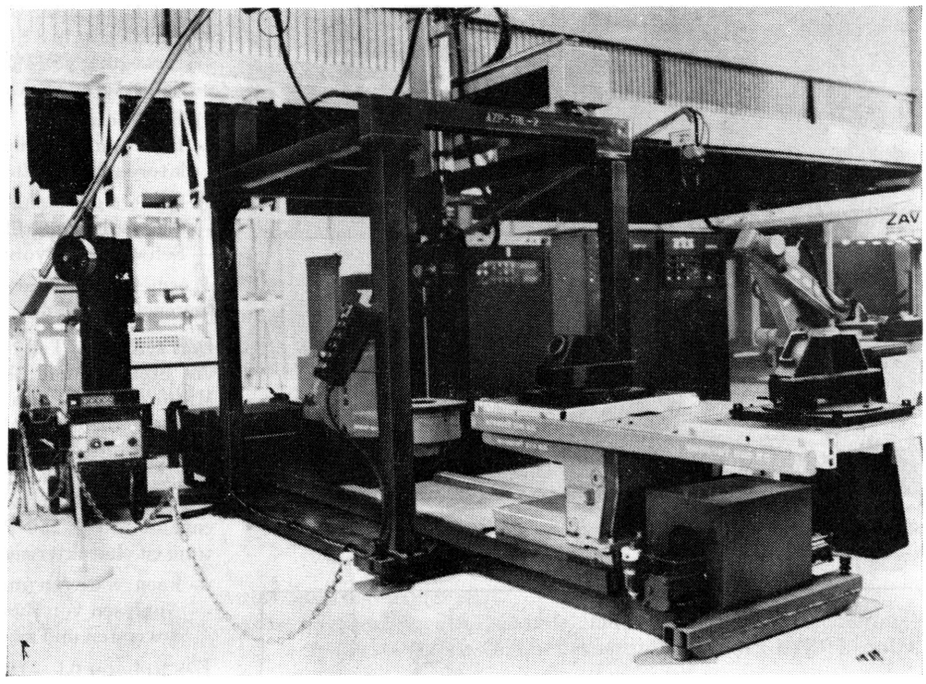
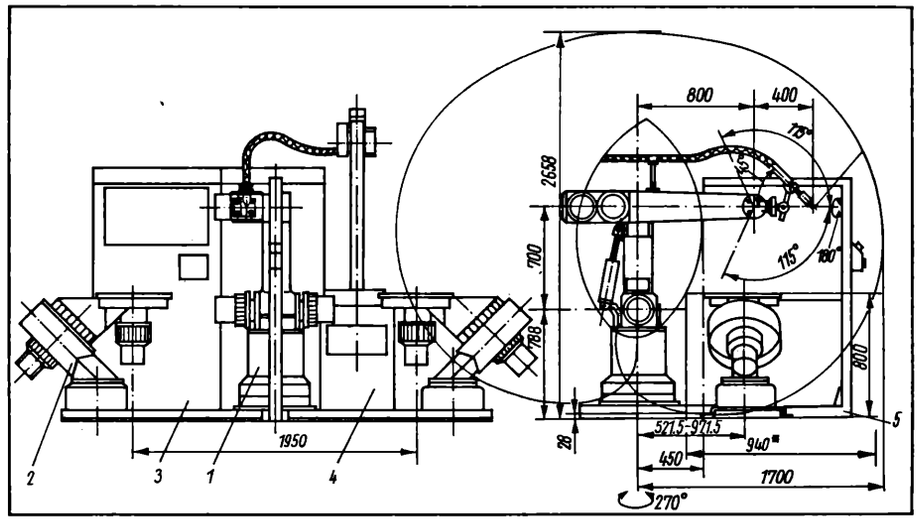


Bild 6. Modularer Roboterarbeitsplatz 0J — 10
(* Tischebene)



die Getriebe ein niedriges Trägheitsmoment und eine kleine Masse haben.

Ein erfolgreich realisiertes Beispiel von Robotern mit diesem Antriebssystem ist der robotisierte modulare Operationsarbeitsplatz 0J-10. Das System wurde in Zusammenarbeit mit dem ZTS — EVU Nova Dubnica, dem ZTS — VVU Zvolen und dem Institut der technischen Kybernetik der Slowakischen Akademie der Wissenschaften (UTK — SAV) Bratislava entwickelt. Die schematische Skizze des Arbeitsplatzes zeigt Bild 6, seine kinematische Struktur zeigt Bild 7. Der Arbeitsplatz besteht aus dem Industrieroboter 0J — 10 RS mit 5 Freiheitsgraden, zwei Positionsmanipulatoren 0J — 10 P mit einer Tragfähigkeit von 250 kg und zwei steuerbaren Achsen, dem adaptiven Steuersystem für 10 stufenlos steuerbare Achsen und einem Bilderkennungssystem. Er ist für Lichtbogenschweißen in Schutzgasatmosphären in der Klein- und Mittelserienfertigung vorgesehen. Die modulare Konzeption ermöglicht es, den Industrieroboter auch für Montagearbeiten einzusetzen. In diesem Fall wird der Roboter mit einem weiteren (6.) Freiheitsgrad ausgerüstet.

Die Gesamtausführung des Roboters zeigt Bild 8. Die Antriebseinheiten sind mit Gleichstromscheibenläufermotoren (Tafel 1) ausgeführt (Typ SRD 350 mit Leistung 350 W und SRD 80 mit Leistung 100 W). Die Positionsmanipulatoren sind in beiden Achsen mit Motoren vom Typ SRID2 (750 W) ausgerüstet. In allen Achsen befinden sich Wellgetriebe (ZTS VVU Zvolen; Tafel 2).

Die Antriebsmotoren werden von Vierquadranten-Transistorimpulsumrichtern gespeist. Die Umrichter haben ein Taktfrequenz von 3 kHz. Um die maximal mögliche Dynamik auch bei Reversierbetrieb zu erreichen, wird der Motor durch symmetrische (positiv und negativ) Spannungsimpulse gespeist. Damit erreicht man, daß in der Umgebung von Null der Spannungsmittelwert Null ist. Die Umrichter sind für eine Nennspannung von 70 V und einen Nennstrom von 25 A sowie einen Maximalstrom von 50 A konzipiert.

Tafel 1. Technische Parameter der Scheibenläufermotoren

Motorentyp	P W	M Ncm	n min^{-1}	M_{max} Ncm	J kgcm^2	U V	I A	I_{max} A	m kg
SRD 80	100	31,8	3000	152	3,5	15,5	13,6	65	3,2
SMU 180	180	57,5	3000	340	3,5	24	11	65	7,5
SRD 350	350	112	3000	1220	3,2	62	17,4	65	8,0
SRID 2	750	238	3000	1425	15*	64	16	95	25*
SRD 1000	1000	320	3000	2440	12	82	15	100	14,5

* einschließlich Bremse

Tafel 2. Parameter der Wellgetriebe ZTS-VVU Zvolen

Typ		HP60	HP80	HP100	HP120		HP160
i		124	104	207	104	207	104
M	Nm	71	153	320	565	600	1120
n_{max}	min^{-1}	7500	7000	5600	4500	4500	3500
J	kg/cm^2	0,5	2,0	6,0	15	15	65
m	kg	0,6	1,25	2,3	4,55	4,55	9,35

i Übersetzungsverhältnis, M Drehmoment an der langsamlaufenden Welle, n_{max} maximale Eintrittsdrehzahl, J Trägheitsmoment auf Eintrittswelle bezogen, m Masse der Getriebekomponenten

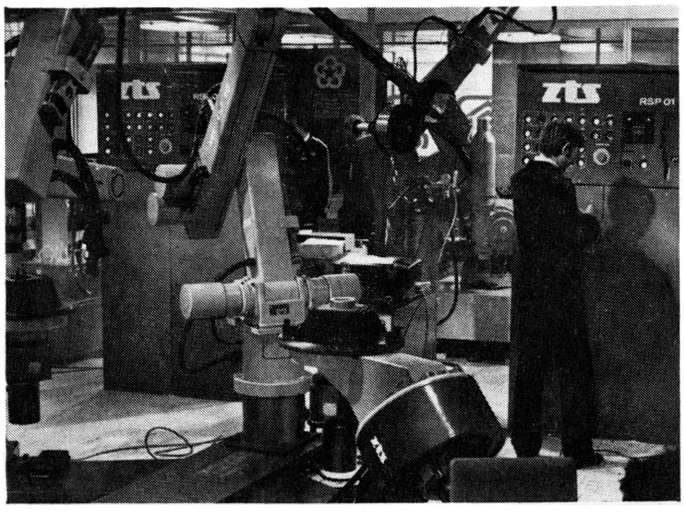


Bild 7. Kinematisches Schema eines Roboterarbeitsplatzes 0J — 10

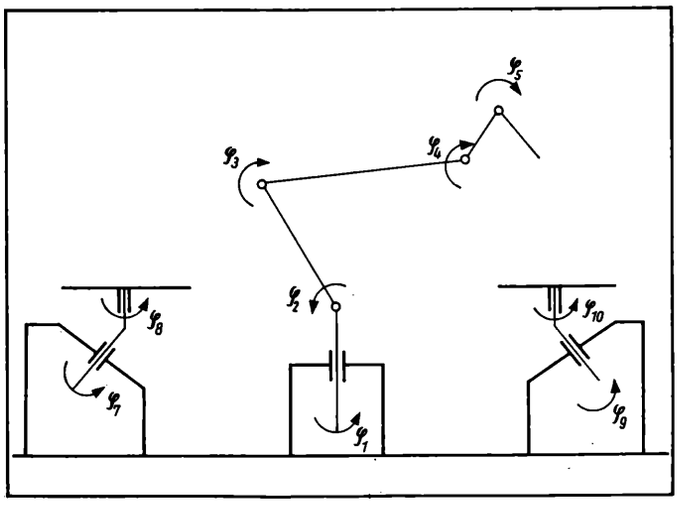


Bild 8. Industrieroboter 0J-10 R

Die hängende Ausführung des Roboters 0J — 10 RZ zeigt Bild 9. Die beiden Roboter können zusammen arbeiten. In dieser Zusammenstellung bringt der hängende Roboter die Schweißteile auf einen Manipulator. Nach Beendigung der Operation arbeiten die Roboter auf dem gegenüberliegenden Manipulator.
Das Steuersystem realisiert folgende Grundfunktionen:

a) automatischer Betrieb
— Bewegung der Gelenkendpunkte des Roboters nach vorgeschriebener Bahn mit Geraden- oder Kreisinterpolation (CP-Steuerung) mit konstanter Geschwindigkeit; die Geschwindigkeit des Endpunktes ist in 8 Stufen wählbar
— Bewegung von Punkt zu Punkt (PTP-Steuerung)
— Selbständige Bewegung der Manipulatoren in zwei Achsen

b) Handbetrieb
— Bewegung der einzelnen Antriebe des Roboters und der Manipulatoren mit wählbarer Geschwindigkeit in 8 Stufen

c) Steuern der technologischen Schweißeinrichtung
— Schweißstromgröße in 5 Stufen
— Schweißdrahtvorschub in 5 Stufen

d) ermöglicht Steuerung von weiteren 16 kundenspezifischen Funktionen durch Kundeneingänge und -ausgänge.

Den zentralen Teil des Steuersystems bildet ein modulares adaptives Steuersystem MARS-1. Es handelt sich um ein modifiziertes Mikrorechnersystem auf der Grundlage des SM 50/50, das im UTK-SAV entwickelt wurde. Der Grundaufbau des Mikrorechners enthält einen 16-bit-Prozessor und einen 28 k · 16 bit-Operationsspeicher.
Um den Roboter für Montagearbeiten einsetzen zu können, wurde das Bilderkennungssystem SM 54/30 entwickelt. Die Bildauflösung enthält 256 × 256 Punkte. Die Geschwindigkeit der Bildverarbeitung ist charakterisiert durch:

— lesen, codieren und speichern des Bildes: 20 ms
— Analysen von Zusammenhängen mit Berechnung von Momenten des ersten und zweiten Grades: 300 ms.

Der Roboter 0J — 10 ist in Leichtbauweise ausgeführt. Seine Masse beträgt 300 kg, die des Steuersystems 500 kg.

4. Zusammenfassung

Elektrische Antriebe von Industrierobotern mit Scheibenläufermotoren und Wellgetrieben in Verbindung mit Transistor-Impulsumrichtern bilden die Antriebseinheiten, die die höchsten Forderungen an Dynamik, Positionsgenauigkeit, hohen Stellbereich und niedrige Masse erfüllen. Die Industrieroboter mit diesen Antrieben erreichen gute technische Parameter. Im Zusammenhang mit weiteren Maschinen und Einrichtungen und insbesondere beim Einsatz des mobilen Robotersystems (MRS), das die Verkettung realisiert, werden automatisierte Fertigungssysteme ausgerüstet. Ein Beispiel eines derartigen Systems aus der ZTS-Produktion wurde anläßlich der internationalen Fachausstellung „ROBOT '86" in Brno vorgeführt.

Literatur

[1] *Raček, V.; Docar, M.:* Control System and Regulating Drives of an 0J-10 Automated Robot Modular Workstation. 5th Power Elektronic Conference, Budapest 1985. Conference Proceeding, Hungarian Elektrotechnical Association
[2] *Raček, V.:* Elektrische Antriebe für Industrieroboter. Internationale Wissenschaftliche Konferenz: „Der Beitrag der Wissenschaften zur automatisierten bedienarmen Produktion". TH Karl-Marx-Stadt, 1986
[3] *Docar, M.; Buday, J.:* Riadiaci system a pohony robotizovaneho pracoiviska 0J-10, Vykonova elektronika 7 (1983) 3
[4] *Palacka, V.; Galik, L.; Biernacki, E.; Magyar, F.:* Operacny system riadiaceho systemu automatickeho zvaracieho zariadenia. Vykonova elektronika 7 (1983) 3

EA 5854

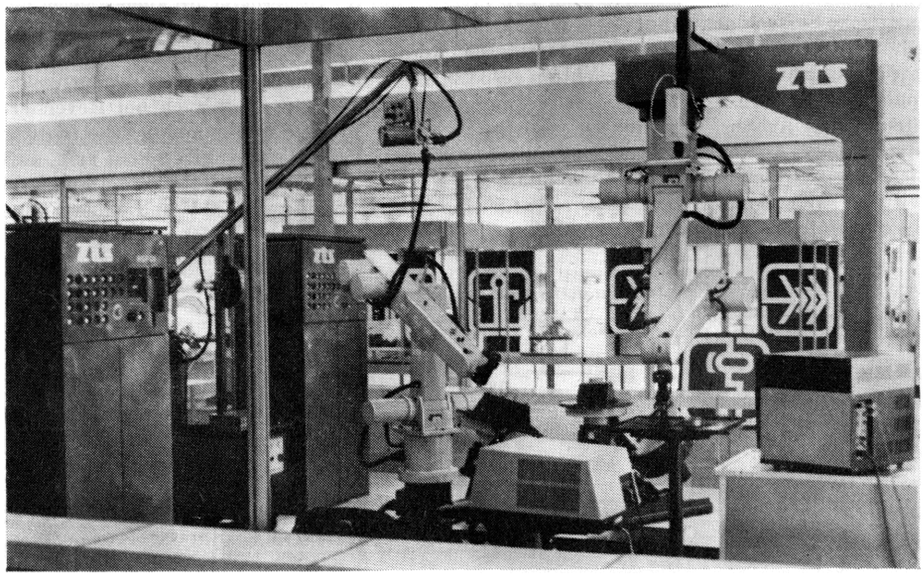


Bild 9. Industrieroboter 0J — 10 RZ

Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine

U. Beckert; W. Neuber; Freiberg

Mitteilung aus der Bergakademie Freiberg,
Wissenschaftsbereich Elektrotechnik

Arbeitet die Asynchronmaschine in Antriebssystemen mit niederfrequenten pendelnden Belastungsmomenten, so interessiert ihr Torsionsschwingungsverhalten. Nachfolgend wird gezeigt, daß die Asynchronmaschine hinsichtlich ihres Torsionsschwingungsverhaltens durch ihr Trägheitsmoment und eine Torsionsfeder mit Dämpfung nachgebildet werden kann.

1. Dynamisches Modell

Bei der Ableitung des Torsionsschwingungsverhaltens wird vereinfachend angenommen, daß

- die Asynchronmaschine elektrisch und magnetisch symmetrisch ist
- der Einfluß der Feldoberwellen vernachlässigt werden kann
- der Sättigungszustand konstant ist
- Stromverdrängungserscheinungen in den Wicklungen vernachlässigt werden können
- die Asynchronmaschine aus einem symmetrischen, starren Drehspannungssystem gespeist wird.

Unter diesen Voraussetzungen wird das dynamische Verhalten der Asynchronmaschine durch je eine Spannungsgleichung für Ständer (Index 1) und Läufer (Index 2) und eine Bewegungsgleichung beschrieben. Im drehfeldbezogenen Koordinatensystem gilt [1] [2]:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}_1}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{j}\,\omega_1\vec{\psi}_1 + \vec{u}_1 - R_1\vec{i}_1, \tag{1}$$

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}_2}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{j}\,(\omega_1-\omega)\vec{\psi}_2 - R_2\vec{i}_2, \tag{2}$$

mit

$$\vec{\psi}_1 = L_1\vec{i}_1 + L_\mathrm{h}\vec{i}_2 \tag{3}$$

$$\vec{\psi}_2 = L_\mathrm{h}\vec{i}_1 + L_2\vec{i}_2 \tag{4}$$

und

$$m = -\frac{3}{2}\,p\,L_\mathrm{h}\,\mathrm{Im}\left[\vec{i}_1^{\,*}\vec{i}_2\right], \tag{5}$$

$$m = m_\mathrm{w} + J\frac{\mathrm{d}\omega_\mathrm{m}}{\mathrm{d}t}. \tag{6}$$

Für die verwendeten Raumzeiger gilt die Definition nach *Kovacs* [1], z. B. für den Ständerstrom

$$\vec{i}_1 = \frac{2}{3}\left(i_{1\mathrm{a}} + \underline{a}\,i_{1\mathrm{b}} + \underline{a}^2\,i_{1\mathrm{c}}\right) \tag{7}$$

mit $\underline{a} = \mathrm{e}^{\mathrm{j}\,2\pi/3}$.

Bei der Ableitung des Torsionsschwingungsverhaltens wird weiterhin vorausgesetzt, daß

- der Ständerwiderstand R_1 vernachlässigt werden kann (diese Vernachlässigung ist bei Asynchronmaschinen $P_\mathrm{n} > 10$ kW zulässig) und
- die Ständerflußverkettung $\vec{\psi}_1$ konstant ist.

Dadurch vereinfacht sich die Ständerspannungsgleichung auf

$$\vec{u}_1 = \mathrm{j}\,\omega_1\vec{\psi}_1. \tag{8}$$

Dr.-Ing. *Ulrich Beckert* und Dr.-Ing. *Wolfram Neuber* sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Bergakademie Freiberg, Sektion Maschinen- und Energietechnik, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik.

Führt man den Schlupf

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \tag{9}$$

in die Läuferspannungsgleichung und in die Bewegungsgleichung ein und eliminiert die Ströme durch die Flußverkettungen, so ergibt sich für das dynamische Verhalten der stromverdrängungsfreien Asynchronmaschine mit konstanter Flußverkettung folgendes Gleichungssystem:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}_2}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{j}\,s\,\omega_1\vec{\psi}_2 - \frac{R_2}{\sigma L_2}\vec{\psi}_2 - \mathrm{j}\,\frac{R_2}{\sigma\,\omega_1 L_2}\frac{L_\mathrm{h}}{L_1}\vec{u}_1, \tag{10}$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -\frac{1}{J\,\frac{\omega_1}{p}}(m - m_\mathrm{w}), \tag{11}$$

$$m = -\frac{3}{2}\,p\,\frac{1}{\sigma L_2}\frac{L_\mathrm{h}}{L_1}\,\mathrm{Im}\left[\mathrm{j}\,\frac{1}{\omega_1}\vec{u}_1^{\,*}\vec{\psi}_2\right], \tag{12}$$

wobei

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mathrm{h}^2}{L_1 L_2}$$

die Gesamtstreuziffer ist.

Es ist zweckmäßig, alle Zustands- und Anregungsgrößen zu normieren, wobei vorteilhaft folgende Bezugsgrößen (Index B) [3] benutzt werden:

$$U_\mathrm{B} = \sqrt{2}\,U_{1\mathrm{n}}, \qquad \psi_\mathrm{B} = \frac{L_\mathrm{h}}{L_1}\sqrt{2}\,U_{1\mathrm{n}}/\omega_1,$$

$$M_\mathrm{B} = M_\mathrm{k}, \qquad s_\mathrm{B} = s_\mathrm{k}, \tag{13}$$

$$t_\mathrm{B} = 1/(s_\mathrm{k}\,\omega_1).$$

$U_{1\mathrm{n}}$ Ständernennstrangspannung, ω_1 Netzkreisfrequenz, s_k Kippschlupf, M_k Kippmoment bei Nennspannung.

Unter Berücksichtigung von

$$M_\mathrm{k} = \frac{3}{2}\,\frac{p}{2}\,\frac{1}{\sigma L_2}\,{\psi_\mathrm{B}}^2 \tag{14}$$

und

$$s_\mathrm{k} = \frac{R_2}{\sigma\,\omega_1 L_2} \tag{15}$$

führen (10) bis (12) auf:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}^2}{\mathrm{d}\tau} = -\mathrm{j}\,s\,\vec{\psi}_2 - \vec{\psi}_2 - \mathrm{j}\,\vec{u}_1, \tag{16}$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}\tau} = -\frac{1}{\tau_\mathrm{m}}(m - m_\mathrm{w}), \tag{17}$$

$$m = -2\,\mathrm{Im}\left[\mathrm{j}\,\vec{u}_1^{\,*}\cdot\vec{\psi}_2\right] \tag{18}$$

bzw. wenn man die komplexen Raumzeiger

$$\vec{u}_1 = u_{1\mathrm{d}} + \mathrm{j}\,u_{1\mathrm{q}},$$
$$\vec{\psi}_2 = \psi_{2\mathrm{d}} + \mathrm{j}\,\psi_{2\mathrm{q}}, \tag{19}$$

in ihre Real- und Imaginärteile zerlegt:

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{2\mathrm{d}}}{\mathrm{d}\tau} = s\,\psi_{2\mathrm{q}} - \psi_{2\mathrm{d}} + u_{1\mathrm{q}}, \tag{20}$$

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{2\mathrm{q}}}{\mathrm{d}\tau} = -s\,\psi_{2\mathrm{d}} - \psi_{2\mathrm{q}} - u_{1\mathrm{d}}, \tag{21}$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}\tau} = -\frac{1}{\tau_\mathrm{m}}(m - m_\mathrm{w}), \tag{22}$$

$$m = -2\,(u_{1\mathrm{d}}\,\psi_{2\mathrm{d}} + u_{1\mathrm{q}}\,\psi_{2\mathrm{q}}). \tag{23}$$

Mit Ausnahme der Zeit wurden in (16) bis (22) für die normierten Größen die gleichen Bezeichnungen wie für die realen Größen verwendet. Die Vorteile des hier angegebenen dynamischen Modells der Asynchronmaschinen bestehen vor allem darin, daß die Systemgleichungen nur noch einen einzigen Motorparameter

$$\tau_\mathrm{m} = J\,\frac{(s_\mathrm{k}\,\omega_1)^2}{p\,M_\mathrm{k}}, \tag{24}$$

J gesamtes an der Motorwelle wirksames Trägheitsmoment, eine Art normierte mechanische Zeitkonstante, enthalten.

Dadurch nehmen die Ergebnisse allgemeinen Charakter an. Sie gelten praktisch für alle Asynchronmotoren mit einer Nennleistung $P_n > 10\,\mathrm{kW}$.
Wegen der Produktbildung von Schlupf und Läuferflußverkettung liegt ein nichtlineares Differentialgleichungssystem vor, das im allgemeinen nur numerisch gelöst werden kann.

2. Systemgleichungen bei kleinen Belastungsänderungen

Arbeitet die Asynchronmaschine in einem stabilen Betriebszustand und wird sie zusätzlich kleinen Belastungsänderungen ausgesetzt, so durchlaufen alle Veränderlichen nur kleine Änderungen. Sie werden zweckmäßig als Überlagerung eines stationären Wertes (Index 0) und einer kleinen zeitabhängigen Auslenkung aufgefaßt:

$$\begin{aligned} m &= m_0 + \Delta m, & \psi_{2d} &= \psi_{2d0} + \Delta\psi_{2d}, \\ m_w &= m_{w0} + \Delta m_w, & \psi_{2q} &= \psi_{2q0} + \Delta\psi_{2q}, \\ s &= s_0 + \Delta s. \end{aligned} \tag{25}$$

Setzt man diese Gleichungen in (20) bis (23) ein, trennt die stationären Anteile ab und beschränkt sich auf kleine Auslenkungen, so daß Produkte kleiner Änderungen vernachlässigt werden können, läßt sich das Differentialgleichungssystem der Asynchronmaschine linearisieren. Es lautet in Operatorschreibweise (P Laplace-Operator):

$$(1+P)\,\Delta\psi_{2d} = s_0\,\Delta\psi_{2q} + \psi_{2q0}\,\Delta s, \tag{26}$$

$$(1+P)\,\Delta\psi_{2q} = -s_0\,\Delta\psi_{2d} - \psi_{2d0}\,\Delta s, \tag{27}$$

$$P\,\tau_m\,\Delta s = \Delta m_w - \Delta m, \tag{28}$$

$$\Delta m = -2\,(u_{1d}\,\Delta\psi_{2d} + u_{1q}\,\Delta\psi_{2q}). \tag{29}$$

Durch Kombination von (26) bis (29) ergeben sich die das dynamische Verhalten der Asynchronmaschine bei kleinen Belastungsänderungen beschreibenden Übertragungsfunktionen. Speziell für $s_0^2 \ll 1$ (nichtnormiert $s_0^2 \ll s_k^2$) erhält man:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta s\,(P)}{\Delta m_w\,(P)} &= \frac{1+P}{P\,\tau_m\,(1+P)+2}, \\ \frac{\Delta m\,(P)}{\Delta m_w\,(P)} &= \frac{2}{P\,\tau_m\,(1+P)+2}. \end{aligned} \tag{30}$$

Von besonderem Interesse ist das Verhalten der Asynchronmaschine bei kleinen periodischen Belastungsänderungen:

$$\Delta m_w = \mathrm{Re}\,[\hat{m}_w\,e^{j\nu\tau}], \tag{31}$$

wobei

$$\nu = \frac{\omega_\nu}{s_k\,\omega_1} \tag{32}$$

die bezogene Pendelfrequenz ist. Mit $P = j\nu$ gelangt man zu den interessierenden Amplitudengängen:

$$\begin{aligned} |F_m(j\nu)| &= \frac{\hat{m}}{\hat{m}_w} = \sqrt{\frac{c'^2 + (\nu d')^2}{\left(\nu^2\frac{\tau_m}{2} - c'\right)^2 + (\nu d')^2}}, \\ |F_s(j\nu)| &= \frac{\hat{s}}{\hat{m}_w} = \frac{\nu}{2}\sqrt{\frac{1}{\left(\nu^2\frac{\tau_m}{2} - c'\right)^2 + (\nu d')^2}}, \end{aligned} \tag{33}$$

worin c' und d' die bezogene Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine sind.

3. Feder- und Dämpfungsziffer

Der Betrachtungsweise des Maschinendynamikers entgegenkommend, läßt sich für das dynamische Verhalten der Asynchronmaschine bei kleinen periodischen Belastungsänderungen ein äquivalentes mechanisches Ersatzsystem, bestehend aus ihrem Trägheitsmoment und einer Torsionsfeder mit Dämpfung, angeben.
Aus dem Vergleich der Bewegungsgleichung des Asynchronmotors und des mechanischen Ersatzsystems

$$\Delta m = -\Delta m_{ers} = \Delta m_w + J\,\frac{\mathrm{d}\,\Delta\omega_{m\nu}}{\mathrm{d}t}, \tag{34}$$

wobei für das Drehmoment

$$\Delta m_{ers} = c\,\Delta\gamma_{m\nu} + d\,\Delta\omega_{m\nu} \tag{35}$$

bzw. in Operatorschreibweise und normiert

$$\Delta m_{ers} = \frac{1}{p\,M_k}\left[j\,\frac{c}{\nu} - d\,s_k\,\omega_1\right]\Delta s \tag{36}$$

gilt, erhält man über

$$\frac{\Delta m}{\Delta s} = -\frac{\Delta m_{ers}}{\Delta s},$$

$$\frac{2}{1+s_0^2}\,\frac{(1-s_0^2)+j\nu}{(1+j\nu)^2+s_0^2} = \frac{1}{p\,M_k}\left[-j\,\frac{c}{\nu} + d\,s_k\,\omega_1\right]$$

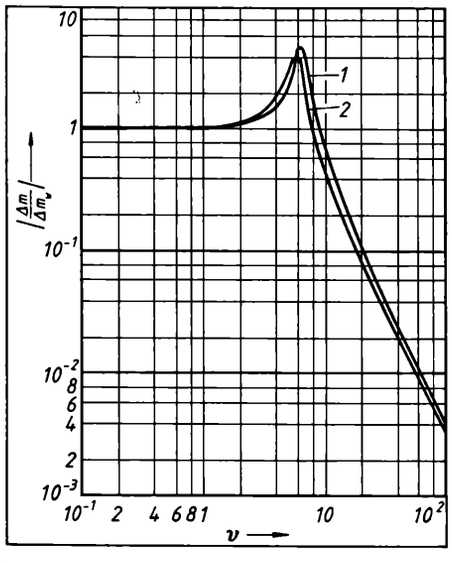


Bild 2. Amplitudengang $|\Delta m/\Delta m_w|$ als Funktion der bezogenen Pendelfrequenz ν für $\tau_m = 0{,}05$
1 $s_0/s_k = 0$;
2 $s_0/s_k = 0{,}5$

Bild 3. Amplitudengänge $|\Delta m/\Delta m_w|$ als Funktion der bezogenen Pendelfrequenz ν bei $s_0 = 0$ für verschiedene Werte der bezogenen mechanischen Zeitkonstanten τ_m
1 $\tau_m = 0{,}05$;
2 $\tau_m = 0{,}15$;
3 $\tau_m = 0{,}5$;
4 $\tau_m = 5{,}0$

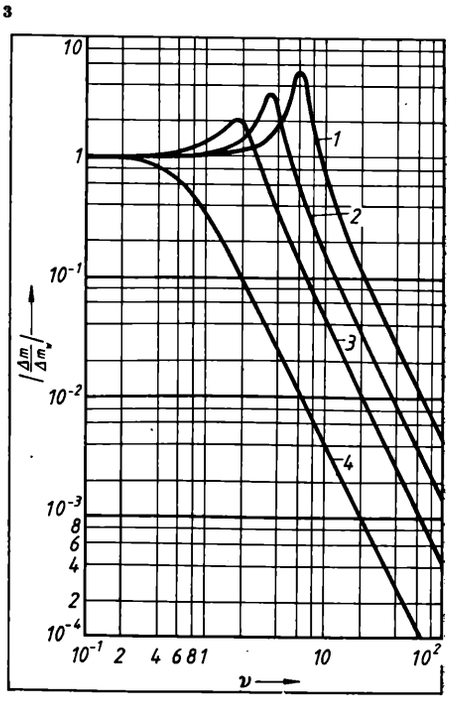
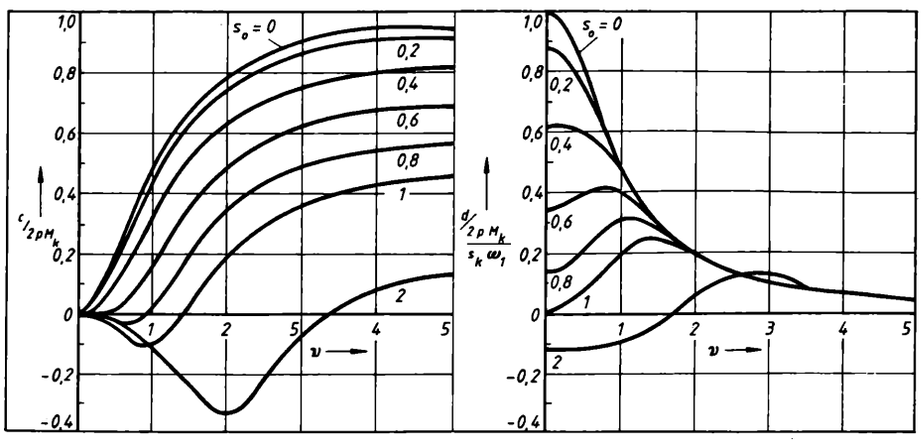


Bild 1. Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine als Funktion der bezogenen Pendelfrequenz $\nu = \omega_\nu/s_k\,\omega_1$



schließlich für die bezogene Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine

$$c' = c/2\,p\,M_k = \frac{1}{1+s_0^2}\,\frac{\nu^2[1-3\,s_0^2+\nu^2]}{[1+(\nu-s_0)^2]\,[1+(\nu+s_0)^2]},$$

$$d' = d\Big/\frac{2\,p\,M_k}{s_k\,\omega_1} = \frac{1-s_0^2+\nu^2}{[1+(\nu-s_0)^2]\,[1+(\nu+s_0)^2]}. \qquad (37)$$

Das Torsionsschwingungsverhalten der Asynchronmaschine kann durch einen Einmassendrehschwinger mit der Federsteifigkeit

$$c = 2\,p\,M_k\,c'$$

und der Dämpfung

$$d = \frac{2\,p\,M_k}{s_k\,\omega_1}\,d'$$

nachgebildet werden. Die Feder- und Dämpfungsziffern sind demnach der Polpaarzahl und dem stationären Kippmoment proportional. Die Asynchronmaschine pendelt jedoch nicht auf der stationären, sondern auf einer dynamischen Drehmoment-Schlupf-Kennlinie. Auf das Läuferträgheitsmoment wirkt neben dem Lastpendelmoment Δm_w das auf Grund der Pendelschwingung elektromagnetisch entwickelte Drehmoment $\Delta m = -\Delta m_{ers}$.

Im Bild 1 sind die bezogene Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine in Abhängigkeit von der bezogenen Pendelfrequenz $\nu = \omega_\nu/s_k\,\omega_1$ dargestellt. Parameter ist der auf den Kippschlupf s_k bezogene Schlupf s_0 im stationären Arbeitspunkt. Im praktisch interessierenden Bereich kleiner Schlupfwerte nehmen mit wachsender Pendelfrequenz die Federziffer zu und die Dämpfungsziffer ab.

Instabilität und die Gefahr selbsterregter Schwingungen im Antriebssystem sind immer dann gegeben, wenn die Dämpfungsziffer negative Werte annimmt. Solche negativen Dämpfungen können sich bei großen Ständer-(Netz-)widerständen auch im vermeintlich stabilen Schlupfbereich $0 < s < s_k$ ergeben, wie in [4] bzw. in [5] [6] nachgewiesen wurde. Ein solches Verhalten ist mit dem hier angegebenen mathematischen Modell der Asynchronmaschine, bei dem der Ständerwiderstand vernachlässigt worden ist, nicht zu erklären.

In den Bildern 2 und 3 sind die Amplitudengänge $|\Delta m/\Delta m_w|$ der Asynchronmaschine [siehe (33)] in Abhängigkeit von der bezogenen Pendelfrequenz ν dargestellt. Parameter sind der bezogene Schlupf im stationären Arbeitspunkt s_0' und die bezogene mechanische Zeitkonstante τ_m [Definition siehe (24)]: Man erkennt, daß das Torsionsschwingungsverhalten der Asynchronmaschine wesentlich von der Größe der bezogenen mechanischen Zeitkonstante τ_m, d.h. von der Größe des Gesamtträgheitsmomentes J, und von der Nähe der bezogenen Pendelfrequenz ω_ν zur Resonanzfrequenz

$$\omega_{rsn} = \sqrt{\frac{c}{J}}$$

(Einmassendrehschwinger) abhängt. Dagegen ist der Einfluß des stationären Betriebsschlupfes s_0 auf das Torsionsschwingungsverhalten der Asynchronmaschine gering (Bild 2). Die Amplitudengänge lassen sich auch als Vergrößerungsfunktion interpretieren.

4. Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß die Asynchronmaschine hinsichtlich ihres Torsionsschwingungsverhaltens durch ihr Trägheitsmoment und eine Torsionsfeder mit Dämpfung nachgebildet werden kann. Für die Feder- und Dämpfungsziffer werden übersichtliche Gleichungen angegeben.

Literatur

[1] *Kovacs, K. P.; Racz, I.:* Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen. Bd. I, II. Budapest: Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften 1959

[2] *Müller, G.:* Elektrische Maschinen. Betriebsverhalten rotierender elektrischer Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[3] *Beckert, U.; Neuber, W.:* Beitrag zur Dynamik von Antrieben mit Drehstromasynchronmotoren. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 4, S. 175–178

[4] *Gahleitner, A.; Musil, R. v.:* Drehstromasynchronmaschine zum Antrieb eines Systems mit niedriger mechanischer Drehschwingungseigenfrequenz und geringer Wellensteifigkeit. Elektrotechnik u. Maschinenbau 88 (1971) 3, S. 138–144

[5] *Lorenzen, H. W.:* Die erzwungenen Schwingungen von Asynchronmotoren unter Berücksichtigung der Ständerwiderstände. ETZ-A 88 (1967) 8, S. 195–202

[6] *Sperling, P. G.:* Stabilität der Asynchronmaschine im nichtstationären Betrieb. Siemens Forschungs- und Entwicklungs-Bericht 2 (1973) 3, S. 131–137

EA 5846

Mathematische Statistik in BASIC: ω^2-Anpassungstest

Chr. Hoy; G. Maibaum; Dresden

Das statistische Verfahren der Isolationskoordination in Elektroenergiesystemen berücksichtigt den Zufallscharakter der Spannungsbeanspruchung und des Isoliervermögens vorrangig der Freiluftisolierungen elektrotechnischer Betriebsmittel. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt die Kenntnis der theoretischen Verteilungs- oder Dichtefunktionen der Kenngrößen der Spannungsbeanspruchung und der Verhaltensfunktionen der Isolierungen voraus [1] bis [3]. Die empirischen Verteilungen der Beanspruchungskenngrößen werden durch Großzahlregistrierungen im Elektroenergiesystem oder durch stochastische Simulationen am Großrechner gewonnen, während die empirischen Verhaltensfunktionen einer Isolieranordnung durch Großzahlmessungen im Labor erhalten werden. Danach werden Anpassungstests durchgeführt, die Schlüsse auf die theoretischen Verteilungen ermöglichen oder vorhandene Hypothesen prüfen.

Die mathematische Statistik stellt dafür eine Reihe von Anpassungstests bereit. Hierzu zählen z.B. der χ^2-Anpassungstest, der Kolmogorov-Test und der ω^2-Anpassungstest. In konkreten Anwendungsfällen wird der χ^2-Anpassungstest sehr häufig benutzt; den ω^2-Anpassungstest (auch: Cramér/v. Mises/Smirnov-Test) findet man hingegen nicht einmal in jedem Standardwerk bzw. Tafelwerk der mathematischen Statistik (z.B. nicht in [4] und [5]).

Beim χ^2-Anpassungstest ist — mehr oder weniger willkürlich — eine Klasseneinteilung im Wertebereich des zufälligen Merkmals vorzunehmen, und der Wert der Testgröße und damit die konkrete Entscheidung anhand einer Stichprobe sind von dieser Klasseneinteilung nicht unabhängig. Der ω^2-Anpassungstest weist diese Eigenheit nicht auf. Mit vorliegendem Beitrag soll darauf aufmerksam gemacht werden, daß der ω^2-Anpassungstest durchaus eine nützliche Alternative oder auch eine Ergänzung zum χ^2-Anpassungstest darstellt, insbesondere in den Fällen, bei denen der χ^2-Test infolge von unterschiedlichen Klasseneinteilungen zu verschiedenen Entscheidungen führt. Ein Schwerpunkt besteht dabei darin zu zeigen, wie der ω^2-Anpassungstest sogar auf einem Kleinstrechner oder Home-Computer realisiert werden kann (BASIC-Programm).

1. Punktschätzungen

Eine Punktschätzung für einen unbekannten Parameter der Verteilung eines zufälligen Merkmals führt im Fall einer konkreten Stichprobe aus der zugehörigen Grundgesamtheit zu einer Zahl, die als Schätzwert für den unbekannten Parameter bezeichnet und entsprechend verwendet wird. Die Stichprobe wird dabei durch den Vektor $[x_1, x_2, \ldots, x_N]$ beschrieben — N bezeichnet somit den Umfang der Stichprobe —, die Zahlen $x_1, x_2, \ldots, x_N$ sind also N unabhängig voneinander gewonnene Einzelbeobachtungen (Realisierungen) des zugrunde liegenden zufälligen Merkmals. Anhand dieser Stichprobe können Schätzwerte der k-ten Anfangsmomente gewonnen werden:

$$m_k = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^k \qquad (1)$$

Schätzwerte der k-ten zentralen Momente werden entsprechend berechnet:

$$\mathring{m}_k = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^k; \qquad (2)$$

dabei ist $\bar{x} = m_1$, und es gilt (natürlich) $\mathring{m}_1 = 0$. Es ist zu beachten, daß die der Gl. (2) zugrundeliegende Punktschätzung die Eigenschaft der Erwartungstreue (Unverzerrtheit) nur asymptotisch (d.h. für $N \to \infty$) besitzt. Es werden daher die mit Gl. (2) gewonnenen Zahlen als „verzerrte" Schätzwerte bezeichnet. Ein Schätz-

Dr. sc. techn. *Christian Hoy*, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden; Dr. rer. nat. Dr. paed. *Gert Maibaum*, Sektion Mathematik der TU Dresden.

Der Beitrag entstand im Rahmen der Arbeit des FUA 0.3 der KDT „Koordination der Isolation".

prinzip, das die Eigenschaft der Erwartungstreue für jeden Stichprobenumfang N hat, führt zu folgenden Schätzwerten der k-ten zentralen Momente (k = 2, 3, 4); vgl. [6] bzw. [7]:

$$\hat{\hat{m}}_2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2 = \frac{N}{N-1}\,\mathring{m}_2 \tag{3}$$

$$\hat{\hat{m}}_3 = \frac{N}{(N-1)(N-2)}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^3 = \frac{N^2}{(N-1)(N-2)}\,\mathring{m}_3 \tag{4}$$

$$\hat{\hat{m}}_4 = \frac{N^2-2N+3}{(N-1)(N-2)(N-3)}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^4 - \frac{3(2N-3)(N-1)}{N(N-2)(N-3)}\,\hat{\hat{m}}_2{}^2 \tag{5}$$

oder

$$\hat{\hat{m}}_4 = \frac{N(N^2-2N+3)}{(N-1)(N-2)(N-3)}\,\mathring{m}_4 - \frac{3(2N-3)N}{(N-1)(N-2)(N-3)}\,\mathring{m}_2{}^2. \tag{6}$$

Die so berechneten Zahlen sollen als „unverzerrte" oder „erwartungstreue" Schätzwerte bezeichnet werden. Häufig verwendet man anstelle $\hat{\hat{m}}_2$ bzw. $\hat{m}_2$ die Symbolik $\hat{s}^2$ bzw. s^{*2}; es gilt also

$$\hat{s}^2 = \frac{N}{N-1}\,s^{*2}. \tag{7}$$

Das vorliegende Programm „THERESE" bestimmt zu einer konkreten Stichprobe auch die unverzerrten Schätzwerte der zentralen Momente, die sich für kleinere Stichprobenumfänge N von den entsprechenden verzerrten Schätzwerten durchaus unterscheiden können; für große Stichprobenumfänge unterscheiden sich die verzerrten von den unverzerrten Schätzwerten nur unwesentlich, wie den Formeln (3) bis (6) unmittelbar zu entnehmen ist.

Mit Hilfe der erwartungstreuen Schätzwerte $\hat{\hat{m}}_2$, $\hat{\hat{m}}_3$ und $\hat{\hat{m}}_4$ werden die empirische Schiefe — in der Literatur häufig als Charlier'sche Schiefe bezeichnet —

$$g = \frac{\hat{\hat{m}}_3}{\left(\hat{\hat{m}}_2\right)^{3/2}} = \frac{\hat{\hat{m}}_3}{\hat{s}^3} \tag{8}$$

und der empirische Exzeß

$$E = \frac{\hat{\hat{m}}_4}{\hat{\hat{m}}_2{}^2} - 3 = \frac{\hat{\hat{m}}_4}{\hat{s}^4} - 3 \tag{9}$$

berechnet.

2. Konfidenzschätzungen

Eine Konfidenzschätzung zum Konfidenzniveau (auch: zur statistischen Sicherheit) $1-\alpha$ $(0<\alpha<1)$ für einen unbekannten Parameter der Verteilung eines zufälligen Merkmals führt im Falle einer konkreten Stichprobe aus der zugehörigen Grundgesamtheit zu einem Bereich — häufig handelt es sich um ein Intervall, das dann als sogenanntes Vertrauensintervall bezeichnet wird, — und man nimmt im weiteren an, daß dieser Bereich den wahren Wert des (unbekannten) Parameters enthält. Eine Konfidenzschätzung zum Konfidenzniveau $1-\alpha$ ist dabei so angelegt, daß dieses Entscheidungsprinzip mit der Wahrscheinlichkeit $(\geqq)$ $1-\alpha$ zu wahren Aussagen führt; die Grenzen des konkret ermittelten Bereiches können demzufolge nicht nur von der konkreten Stichprobe und dem Stichprobenumfang abhängen, sondern auch von der (vorzugebenden) Zahl α.

Es interessieren hier nur Konfidenzschätzungen für den unbekannten Erwartungswert μ und die unbekannte Standardabweichung σ eines zufälligen Merkmals, und dies auch nur bei großem Stichprobenumfang $(N \to \infty)$. Zur Ermittlung solcher Konfidenzschätzungen ist wesentlich, daß die Punktschätzungen, die bei vorliegender konkreter Stichprobe $x_1, x_2, \ldots, x_N$ zu den Realisierungen

$$m_1 = \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \tag{10}$$

$$\hat{\hat{m}}_2 = \hat{s}^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2 \tag{11}$$

führen, asymptotisch (d.h. für $N \to \infty$) normalverteilt sind. In diesem Zusammenhang sei an die folgenden Funktionen erinnert:

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{1}{2}u^2}\,du \qquad (-\infty < x < \infty) \tag{12}$$

(Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung)

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{0}^{x} e^{-\frac{1}{2}u^2}\,du \qquad (x>0) \tag{13}$$

$$\Phi(x) = \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_{0}^{x} e^{-u^2}\,du \qquad (x>0) \tag{14}$$

Es gilt für jedes $x > 0$

$$2\,\Phi_0(x) = 2\,\Phi^*(x) - 1 = \Phi\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right). \tag{15}$$

Für vorgegebenes α $(0<\alpha<1)$ — man wählt häufig $\alpha = 1\%$, d.h. als statistische Sicherheit $1-\alpha = 0{,}99 = 99\%$ — berechnet man z_α aus $\Phi^*(z_\alpha) = 1-\alpha/2$. (Für $\alpha = 0{,}01$ ergibt sich $z_\alpha = 2{,}58$). Ist nun $x_1, x_2, \ldots, x_N$ eine konkrete Stichprobe und

$$\alpha_1 = \bar{x} - z_\alpha\,\frac{\hat{s}}{\sqrt{N}}, \tag{16}$$

Bild 1. Block R1 des Programms „THERESE": Berechnung der Kenngrößen einer konkreten Stichprobe und Konfidenzschätzung für den Erwartungswert μ und die Standardabweichung σ

```
READY.

255 REM  BLOCK R1:KENNGROESSEN
256 P1=0:FOR I=1 TO N:P1=P1+X(I):NEXT
257 MX=P1/N:REM MITTELWERT
258 CB=0:CC=0:CD=0
261 LP=0:FORI=1TON:LP=LP+LOG(X(I)):NEXT
262 LX=LP/N:REM MITTELWERT DER LOG
263 FOR I=1 TO N:A=X(I)-MX:B=A*A:C=A*B
264 D=A*C:CB=CB+B:CC=CC+C:CD=CD+D:NEXT
267 SB=0:FOR I=1 TO N:AL=LOG(X(I))-LX
268 BL=AL*AL:SB=SB+BL:NEXT
269 D2=CB/(N-1):REM STREUUNG (ERW.TREU)
270 D3=N*CC/((N-1)*(N-2))
271 REM D3:3.ZENTR.MOMENT (ERW.TREU)
272 H1=(N-1)*(N-2)*(N-3)
273 D4=CD*(N↑2-2*N+3)/H1
274 H0=(N-1)*(2*N-3)*D2↑2
275 D4=D4-(3*H0)/((N-2)*(N-3)*N)
276 REM D4:4.ZENTR.MOMENT (ERW.TREU)
277 SX=SQR(D2):REM STAND.ABW. (ERW.TREU)
278 XS=D3/(SX↑3)  :REM SCHIEFE
279 XE=D4/(SX↑4)-3:REM EXZESS
280 SL=SQR(SB/(N-1))
281 REM SL:STAND.ABW.DER LOG (ERW.TREU)
282 E2=CB/N:REM STREUUNG (VERZERRT)
283 E3=CC/N:REM 3.ZENTR.MOM.(VERZERRT)
284 E4=CD/N:REM 4.ZENTR.MOM.(VERZERRT)
285 SI=SQR(E2):REM STAND.ABW.(VERZERRT)
286 V1=MX-2.58*SI/SQR(N)
287 V2=MX+2.58*SI/SQR(N)
288 V3=SI-1.29*SQR((E4-E2↑2)/(E2*N))
289 V4=SI+1.29*SQR((E4-E2↑2)/(E2*N))

READY.

290 REM BLOCK R2:GEORDNETE STICHPROBE
292 FOR I=1 TO N-1
293 FOR J=I TO N-1
294 IF X(J+1)>=X(I) THEN 296
295 H=X(I):X(I)=X(J+1):X(J+1)=H
296 NEXT J
297 NEXT I

READY.
```

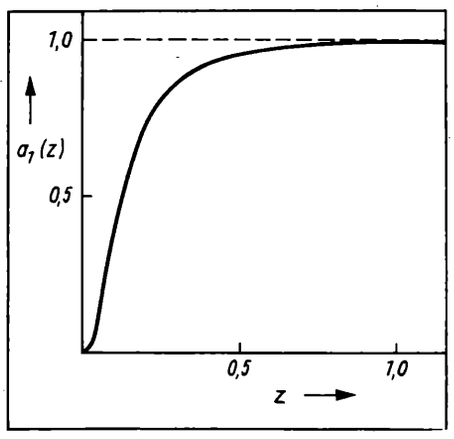


Bild 2. ω^2-Grenzverteilung $a_1(z)$ nach [13] und [14]

Bild 3. Blöcke E1 und E2 des Programms „THERESE": Eingabe von Parametern und Einlesen der Stichprobe

```
215 REM BLOCK E1:EINGABE VON PARAMETERN
216 PRINT"␣":PRINT
217 PRINT" AUF WELCHE HYPOTHETISCHEN VERTEILUNGEN"
218 PRINT
219 PRINT" SOLL GEPRUEFT WERDEN?":PRINT
220 PRINT"        - ANTWORTEN SIE  I M M E R  MIT"
221 PRINT
222 PRINT"            J (=JA)  ODER  N (=NEIN)  !"
223 PRINT:PRINT
224 PRINT" 1.        NORMAL-VERTEILUNG";
225 INPUT C1$:C$=C1$:PRINT
226 PRINT" 2.   LOG-NORMAL-VERTEILUNG";
227 INPUT C2$:C$=C$+C2$:PRINT
228 PRINT" 3.DOPPEL-EXPONENTIAL-VERT.";
229 INPUT C3$:C$=C$+C3$:PRINT
230 PRINT" 4.      GRAM-CHARLIER-REIHE";
231 INPUT C4$:C$=C$+C4$:PRINT
232 PRINT" 5.      RAYLEIGH-VERTEILUNG";
233 INPUT C5$:C$=C$+C5$:PRINT
234 FOR I=1 TO 40:PRINT"-";:NEXT:PRINT
235 INPUT" UMFANG DER STICHPROBE  N:";N
236 DIM X(N):PRINT

READY.

245 REM BLOCK E2: EINLESEN DER STICH-
246 REM PROBE - DATEN AB ZEILE 500
247 FOR I=1 TO N:READ X(I):NEXT I

READY.
```

$$\alpha_2 = \bar{x} + z_\alpha \frac{\hat{s}}{\sqrt{N}} \tag{17}$$

bzw.

$$\beta_1 = \hat{s} - \frac{1}{2} z_\alpha \sqrt{\frac{\mathring{m}_4 - \mathring{m}_2^2}{\mathring{m}_2 N}}, \tag{18}$$

$$\beta_2 = \hat{s} + \frac{1}{2} z_\alpha \sqrt{\frac{\mathring{m}_4 - \mathring{m}_2^2}{\mathring{m}_2 N}}, \tag{19}$$

so erhält man mit dem Intervall (α_1, α_2) bzw. (β_1, β_2) ein Vertrauensintervall für μ bzw. σ; diesen Vertrauensintervallen liegen asymptotisch (d.h. für $N \to \infty$) Konfidenzschätzungen zum Konfidenzniveau $1 - \alpha$ zugrunde [4].

Die Ermittlung der Stichprobenkenngrößen und der Vertrauensintervalle für μ und σ wird durch den Block R 1 des Programms „THERESE" vorgenommen (Bild 1).

3. ω^2-Anpassungstest

Als Anpassungstest bezeichnet man einen Test zur Prüfung der Hypothese, daß die Verteilungsfunktion F_0 eines zufälligen Merkmals eine ganz bestimmte Verteilungsfunktion F ist. Zur praktischen Durchführung benötigt man eine konkrete Stichprobe $x_1, x_2, \ldots, x_N$, und muß eine Zahl α — die sogenannte Irrtumswahrscheinlichkeit — vorgeben ($0 < \alpha < 1$, häufig: $\alpha = 5\%, \alpha = 1\%$). Der ω^2-Anpassungstest kann bei Grundgesamtheiten mit stetiger Verteilungsfunktion F_0 angewendet werden; er beruht letztlich darauf, daß die empirische Verteilungsfunktion F_N der Stichprobe $[x_1, x_2, \ldots, x_N]$

$$F_N(x) = \frac{\text{Anzahl der Stichprobenwerte} < x}{N} \qquad (-\infty < x < \infty) \tag{20}$$

für große Stichprobenumfänge N ein „guter" Schätzwert für die tatsächlich zugrundeliegende („wahre") Verteilungsfunktion F_0 ist (Satz von *Gliwenko*, Hauptsatz der mathematischen Statistik, vgl. [4] [5]).

Im einzelnen geht man wie folgt vor: Man ordnet die Werte x_i ($i = 1, 2, \ldots, N$) der Stichprobe $[x_1, x_2, \ldots, x_N]$ der Größe nach (Block R 2 des Programms, Bild 1) und erhält so die geordnete Stichprobe $[y_1, y_2, \ldots, y_N]$. Als konkrete Testgröße dient (vgl. [8] bis [15]):

$$N\omega^2 = N \int_{-\infty}^{\infty} [F_N(x) - F(x)]^2 \, \mathrm{d}F(x)^{1}). \tag{21}$$

Diese Größe beschreibt offenbar die Abweichung zwischen der empirischen Verteilungsfunktion F_N der konkreten Stichprobe und der hypothetischen Verteilungsfunktion F.

Nun gilt

$$N\omega^2 = \frac{1}{12N} + \sum_{k=1}^{N} \left[F(y_k) - \frac{2k-1}{N} \right]^2; \tag{22}$$

diese Formel gestattet eine relativ bequeme Berechnung des konkreten Prüfwertes. Die hier zugrundeliegende Testgröße besitzt — falls die Hypothese $H: F_0 = F$ wahr ist — asymptotisch (d.h. für $N \to \infty$) eine vertafelt vorliegende Grenzverteilungsfunktion a_1,

Bild 4. Block R 3 des Programms „THERESE": Berechnung sämtlicher Prüfwerte

```
300 REM BLOCK R3:BERECHNUNG SAEMTLICHER
301 REM           PRUEFWERTE
305 IF C$="NNNNN" THEN 401
306 PRINT"␣":PRINT
307 PRINT" BITTE MERKEN SIE SICH":PRINT
308 PRINT" DAS GEWUENSCHTE SIGNIFIKANZNIVEAU VOR!"
309 PRINT:PRINT" ZUR AUSWAHL STEHEN:"
310 PRINT
311 PRINT"    0.1    0.05    0.01    0.001   "
312 PRINT:FORI=1TO40:PRINT"-";:NEXT
313 PRINT
315 PRINT" ICH BERECHNE INZWISCHEN "
316 PRINT
317 PRINT" DIE PRUEFWERTE DER TESTGROESSE FUER:"
318 PRINT
340 XZ=1:IF C1$="N" THEN 343
341 PRINT"        NORM.VERT.":PRINT
342 GOSUB 150
343 XZ=XZ+1:IF C2$="N" THEN 346
344 PRINT"   LOG.NORM.VERT.":PRINT
345 GOSUB 150
346 XZ=XZ+1:IF C3$="N" THEN 349
347 PRINT"   DOP.EXPO.VERT.":PRINT
348 GOSUB 150
349 XZ=XZ+1:IF C4$="N" THEN 355
350 PRINT"   CHARLIER-REIHE":PRINT
351 GOSUB 150
355 XZ=XZ+1:IF C5$="N" THEN 359
356 PRINT"   RAYLEIGH VERT."
357 GOSUB 150
359 REM
370 PRINT"␣":PRINT:PRINT
371 PRINT" GEBEN SIE DAS SIGNIFIKANZNIVEAU EIN !"
372 PRINT:PRINT
373 INPUT"   ALPHA:";AL
375 IF AL=0.1 THEN YK=0.34730:GOTO 401
376 IF AL=0.05 THEN YK=0.46136:GOTO 401
377 IF AL=0.01 THEN YK=0.74346:GOTO 401
378 YK=1.16786

READY.
```

[1]) In der Literatur werden auch andere Testgrößen vorgeschlagen, z. B. in [12]:

$$N \int_{-\infty}^{\infty} [F_N(x) - F(x)]^2 \frac{\mathrm{d}F(x)}{F(x)[1-F(x)]}$$

die unabhängig von F ist (!) und schon für mäßig große N (etwa $N = 40$) gut angenähert wird und eingesetzt werden kann (vgl. [9] [11] [12]). Eine Vorstellung von dieser Grenzverteilung vermittelt Bild 2. Die für die Durchführung des ω^2-Tests wichtigen Quantille z_α, für die also $a_1(z_\alpha) = 1 - \alpha$ gilt, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

α	0,10	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,001
z_α	0,34730	0,46136	0,49929	0,54885	0,61981	0,74346	1,16786

Im konkreten Fall berechnet man gemäß Gl. (22) den konkreten Wert — den Prüfwert $(N\omega^2)_p$ — der Testgröße und entscheidet so:

— Gilt $(N\omega^2)_p \geqq z_\alpha$, so lehnt man beim gewählten Signifikanzniveau die Hypothese $H: F_0 = F$ ab.

— Gilt $(N\omega^2)_p < z_\alpha$, so ist gegen die Hypothese $H: F_0 = F$ aufgrund der vorliegenden Stichprobe nichts einzuwenden.

Mit Hilfe des Programms „THERESE" kann der ω^2-Anpassungstest für verschiedene hypothetische Verteilungen ausgeführt werden (Der Block E 1 — Bild 3 — fordert den Nutzer auf, eine Auswahl vorzunehmen):

1. Normalverteilung mit den Parametern μ und σ^2:

$$F(x) = \Phi^*(y) = \frac{1}{2}\left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{y}{\sqrt{2}}\right)\right] \tag{23}$$

mit

$$y = \frac{x - \mu}{\sigma} \qquad (-\infty < x < \infty); \tag{24}$$

dabei spielen μ die Rolle des Erwartungswertes und σ^2 die Rolle der Streuung.

2. Logarithmische Normalverteilung mit den Parametern μ_{ln} und σ_{ln}:
Ein zufälliges Merkmal besitzt bekanntlich eine Lognormalverteilung mit den Parametern μ_{ln} und σ_{ln}, wenn der natürliche Logarithmus dieses zufälligen Merkmals eine Normalverteilung mit dem Erwartungswert μ_{ln} und der Streuung σ_{ln}^2 hat. Die Verteilungsfunktion lautet:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & (x \leqq 0) \\ \Phi^*\left(\dfrac{\ln x - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right) = \dfrac{1}{2}\left[1 + \operatorname{erf}\left(\dfrac{\ln x - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)\right] & (x > 0). \end{cases} \tag{25}$$

Der zugehörige Erwartungswert ist durch

$$\mu = e^{\mu_{ln} + \frac{1}{2}\sigma_{ln}^2}, \tag{26}$$

die Streuung durch

$$\sigma^2 = e^{2\mu_{ln} + \sigma_{ln}^2}\left(e^{\sigma_{ln}^2} - 1\right) \tag{27}$$

gegeben.

3. Doppelexponentialverteilung mit den Parametern α $(\alpha > 0)$ und q (reell):

$$F(x) = 1 - e^{-e^{\alpha(x-q)}} \qquad (-\infty < x < \infty). \tag{28}$$

Der zugehörige Erwartungswert ist durch

$$\mu = q - \frac{C}{\alpha} \quad (C = 0.577216 \text{ — Eulersche Zahl}),$$

die Streuung durch

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$$

gegeben.

4. Rayleigh-Verteilung mit dem Parameter λ [16] [17]:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{\lambda}} & (x \geqq 0) \end{cases}. \tag{29}$$

Der zugehörige Erwartungswert ist durch

$$\mu = \frac{\sqrt{\pi\lambda}}{2}$$

gegeben, die Streuung durch

$$\sigma^2 = \lambda\left(1 - \frac{\pi}{4}\right).$$

Im konkreten Fall werden für den Erwartungswert μ und die Streuung σ^2 deren unverzerrte Schätzwerte m_1 und $\hat{s}^2$ entsprechend den Gln. (10) und (11) eingesetzt und damit Schätzungen für die jeweiligen Parameter gewonnen.

Darüber hinaus ist im Programm „THERESE" vorgesehen, daß für die hypothetische Verteilungsfunktion die Funktion

$$F(x) = \frac{1}{2}\left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{y}{\sqrt{2}}\right)\right] - \frac{e^{-\frac{y^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}\left[\frac{g}{6}(y^2 - 1) + \frac{E}{24}y(y^2 - 3)\right] \tag{30}$$

mit $y = \dfrac{x - m_1}{\hat{s}}$

eingesetzt wird; dabei bedeuten m_1, $\hat{s}$, g und E die aus der Stichprobe nach den Gln. (10), (11), (8) und (9) berechneten Schätzwerte für Erwartungswert, Standardabweichung, Charlierscher Schiefe

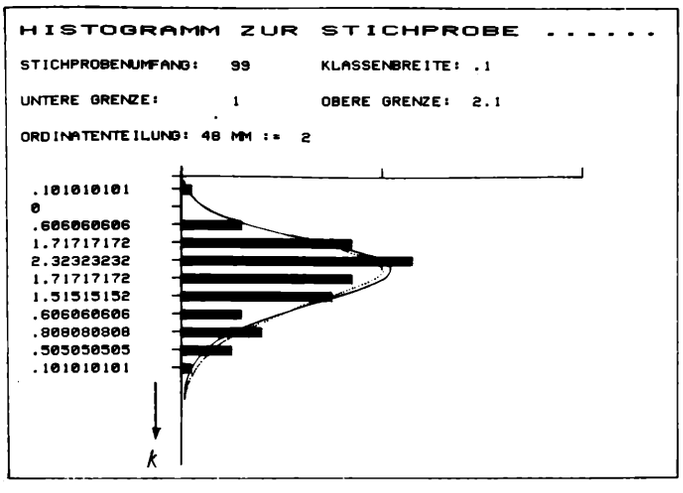
```
10 REM NORM.VERT.
11 X0=(XX-MX)/(SX*SQR(2))
12 GOSUB 105
13 ER=ER/2+0.5
14 RETURN
15 REM LOG.NORM.VERT.
16 X0=(LOG(XX)-LX)/(SL*SQR(2))
17 GOSUB 105
18 ER=ER/2+0.5
19 RETURN
25 REM   DOPP.EXPO.VERT.
26 X1=4/(SX*SQR(6))
27 Y1=MX+0.577215665/X1
28 Y2=X1*(XX-Y1):Y3=EXP(Y2)
29 ER=1-EXP(-Y3):RETURN
50 REM CHARLIER REIHE
51 Q1=(XX-MX)/SX:X0=Q1/SQR(2)
52 GOSUB 105
53 H1=(XS/6)*(Q1↑2-1)
54 H2=(XE/24)*Q1*(Q1↑2-3)
55 H3=EXP(-(Q1↑2)/2)
56 ER=ER/2+0.5-H3*(H1+H2)/(SQR(2*4))
57 RETURN
60 REM RAYLEIGH VERT.
61 H1=(4*XX↑2)/(4*MX↑2)
62 ER=1.0-EXP(-H1):RETURN
105 REM ERF
109 Z=0
110 IF X0<>0 THEN 125
115 ER=Z
120 RETURN
125 IF ABS(X0)>0.5 THEN 127
126 A=-X0:GOTO 128
127 A=-SGN(X0)*0.5
128 U=(2*EXP(-X0↑2))/SQR(4):V=U
129 Y0=-V*A:TT=Y0
130 N0=1
131 IF ABS(TT)>=0.0000000001 THEN 133
132 Z=Z+Y0:X0=X0+A:GOTO 110
133 N0=N0+1
134 W=-2*X0*V-2*U*(N0-2)
135 TT=TT*W*A/(V*N0)
136 U=V:V=W
137 Y0=Y0+TT
140 GOTO 131
150 REM BERECHNUNG EINES PRUEFWERTES
155 Y=0:FOR I=1 TO N:XX=X(I)
160 ON XZ GOSUB 10,15,25,50,60
165 Y=Y+(ER-(2*I-1)/(2*N))↑2:NEXT
170 Y(XZ)=Y+1.0/(12*N):RETURN

READY.
```

Bild 5. Block der Unterprogramme des Programms „THERESE"

```
401 REM  BLOCK A1:AUSGABE KENNGROESSEN
402 PRINT"␣":PRINT
403 PRINT" KENNGROESSEN DER STICHPROBE"
404 FOR I=1 TO 40:PRINT"-";:NEXT:PRINT
406 PRINT" MITTELWERT      MX:  ";MX:PRINT
407 PRINT" STANDARD ABW.   SX:  ";SX:PRINT
408 PRINT" SCHIEFE         XS:  ";XS:PRINT
409 PRINT" EXZESS          XE:  ";XE:PRINT
410 FORI=1TO40:PRINT"-";:NEXT:PRINT
411 PRINT" KONF.INT. VON MX:  ";V1:PRINT
412 PRINT"       (99%)        ";V2:PRINT
413 PRINT" KONF.INT. VON SX:  ";V3:PRINT
414 PRINT"       (99%)        ";V4
415 STOP
416 PRINT"␣":PRINT:PRINT
417 PRINT" MITTELW. LOG. LX:  ";LX:PRINT
418 PRINT" ST.ABW.  LOG. SL:  ";SL:PRINT
419 PRINT:STOP

READY.

450 REM  BLOCK A3:
451 REM  AUSGABE DER TESTERGEBNISSE
456 PRINT"␣":PRINT
457 PRINT" SIGNIFIKANZ-NIVEAU:          ";AL
458 PRINT
459 PRINT" KRIT. WERT DER TESTGROESSE:";YK
460 PRINT:PRINT
461 PRINT" HYPOTHET.                  PRUEFWERT DER"
462 PRINT
463 PRINT" VERTEILUNG                   TESTGROESSE"
464 FOR I=1 TO 40:PRINT"-";:NEXT:PRINT
465 IF C1$="N" THEN 470
466 PRINT"      NORM";:IFY(1)>YKTHEN468
467 PRINT" NICHT ABGELEHNT ";:GOTO 469
468 PRINT"        ABGELEHNT ";
469 PRINT Y(1):PRINT
470 IF C2$="N" THEN 475
471 PRINT" LOG-NORM";:IFY(2)>YKTHEN473
472 PRINT" NICHT ABGELEHNT ";:GOTO 474
473 PRINT"        ABGELEHNT ";
474 PRINT Y(2):PRINT
475 IF C3$="N" THEN 480
476 PRINT" DOP-EXPO";:IFY(3)>YKTHEN478
477 PRINT" NICHT ABGELEHNT ";:GOTO 479
478 PRINT"        ABGELEHNT ";
479 PRINT Y(3):PRINT
480 IF C4$="N" THEN 485
481 PRINT" CHARLIER";:IFY(4)>YKTHEN483
482 PRINT" NICHT ABGELEHNT ";:GOTO 484
483 PRINT"        ABGELEHNT ";
484 PRINT Y(4):PRINT
485 IF C5$="N" THEN 490
486 PRINT" RAYLEIGH";:IFY(5)>YKTHEN488
487 PRINT" NICHT ABGELEHNT ";:GOTO 489
488 PRINT"        ABGELEHNT ";
489 PRINT Y(5):PRINT
490 END

READY.
```

Bild 6. Blöcke A 1 und A 3 des Programms „THERESE": Ausgabe der Kenngrößen und der Testergebnisse über Bildschirm

Bild 7. Beispiel für die Ausgabe eines Histogramms von Schaltüberspannungsfaktoren beim dreipoligen Wiedereinschalten einer UHV-Übertragung [20] mit Hilfe einfacher graphischer Mittel. Zum Vergleich wurden nachträglich eingezeichnet:
——— Dichtefunktion der logarithmischen Normalverteilung
····· Approximation der Häufigkeitsverteilung durch eine Gram-Charlier-Reihe



und Exzeß. Obige Funktion basiert auf dem Anfang der Gram-Charlier-Reihe, mit deren Hilfe versucht wird, die Dichte einer stetigen Zufallsgröße mit existierenden Momenten näherungsweise durch die Dichte der standardisierten Normalverteilung und durch deren Ableitungen zu approximieren. Dies erweist sich insbesondere dann als günstig, wenn die betreffende Verteilung der Normalverteilung benachbart ist [6] [7] [10].

Das oben vorkommende Fehlerintegral erf (z) wird nach folgender Reihenentwicklung berechnet [18] [19]:

$$\Phi(z) = \operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-z^2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2^k z^{2k+1}}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2k+1)}. \tag{31}$$

Die Steuerung der Berechnung sämtlicher Prüfwerte nach Gl. (22) erfolgt für die gewählten hypothetischen Verteilungen durch den Block 3 des Programms „THERESE" (Bild 4). Die den hypothetischen Verteilungsfunktionen (23), (25), (28) und (29) sowie der Funktion (30) entsprechenden Unterprogramme zeigt Bild 5.

Das Programm „THERESE" nimmt den ω^2-Anpassungstest zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit vor, die der Nutzer aus den gebräuchlichsten Werten $\alpha = 0{,}1$; 0,05; 0,01; 0,001 wählen und eingeben muß (Block R 3, Bild 4). Mit den Werten obiger Tabelle und den vom Programm ausgegebenen Prüfwerten $(N\,\omega^2)_p$ der Testgröße kann der Test auch für andere Irrtumswahrscheinlichkeiten α ausgeführt werden.

4. Beispiel:

Mit Hilfe des ω^2-Anpassungstests sind zahlreiche Stichproben untersucht worden, die durch stochastische Simulationen am Großrechner zum Studium des Zufallscharakters der Beanspruchungskenngrößen von Einschaltüberspannungen auf EHV- und UHV-Übertragungen erhalten worden sind [20] bis [22]. Zur Beurteilung der Schaltspannungsbeanspruchung zwischen Leiter und Erde werden in der Hauptsache die Verteilungen der Überspannungsfaktoren k_{LE} (und deren Anstiegszeiten τ_A) analysiert. Bild 7 zeigt z.B. das Histogramm der Überspannungsfaktoren des zweiten Schwingungsscheitels in Leitungsmitte einer UHV-Übertragung beim Wiedereinschalten im Zyklus einer erfolgreichen dreipoligen automatischen Wiedereinschaltung nach einem einpoligen Erdfehler [20]. Mit Hilfe des Programms „THERESE" wurden die Kenngrößen der Stichprobe $(N = 99)$

$\bar{x} = 1.542$; $\hat{s} = 0.197$; $g = 0.368$; $E = -0.340$

ermittelt und die Prüfwerte $(N\,\omega^2)_p$ des ω^2-Anpassungstests zu den im Abschnitt 3 angegebenen hypothetischen Verteilungen berechnet:

Normalverteilung:	0.1470
Logarithmische Normalverteilung:	0.0726
Doppelexponentialverteilung:	0.6135
Rayleigh-Verteilung:	4.214
Gram-Charlier-Reihe:	0.0653.

Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0.05$ werden die beiden Hypothesen zurückgewiesen, daß die Stichprobe Rayleigh- bzw. doppelexponentialverteilten Grundgesamtheiten entnommen worden ist. Die übrigen drei Hypothesen widersprechen dem statistischen Material nicht. Die Analyse der Prüfwerte $(N\,\omega^2)_p$ zeigt, daß linkssteile Verteilungen die empirische Verteilung besser approximieren. Die graphische Darstellung der Dichtefunktionen (Bild 7) bestätigt dies und veranschaulicht zugleich, daß im vorliegenden konkreten Falle der Unterschied zwischen der logarithmischen Normalverteilung und einer Approximation auf der Grundlage der Gram-Charlier-Reihe nicht erheblich ist.

5. Abschließende Bemerkungen

Der ω^2-Anpassungstest kann mit Hilfe des Programms „THERESE" auch für andere hypothetische Verteilungen durchgeführt werden. Wie aus dem Programmaufbau ersichtlich, können ohne Schwierigkeiten die oben genannten hypothetischen Verteilungen durch andere ersetzt bzw. ergänzt werden. In der hier vorgestellten Variante des Programms „THERESE" erfolgen Ein- und Ausgabe über den Bildschirm (Blöcke E 1 und E 2 des Bildes 3 bzw. Blöcke A 1 und A 3 des Bildes 6), da dies als Elementarvariante für alle Kleinstrechner und Home-Computer bei Minimalausstattung möglich ist. Durch wenige Programmzeilen kann die Eingabe so geändert werden, daß die Stichprobenwerte z.B. auch von Magnetband (Datasette) oder anderen peripheren Speichern übernommen werden können. Sowohl bei Drucker- als auch bei Bildschirmausgabe kann man sich — selbst bei bescheidenen Möglichkeiten — bereits der Graphik bzw. Pseudographik bedienen (Bild 7).

Prof. Dr. Wicht begeht den 65. Geburtstag

Die Entwicklung moderner Fertigungsverfahren, basierend auf neuen Wirkprinzipien und Energieträgern, prägt die wissenschaftlich-technische Revolution unserer Zeit. Dazu gehören auch die Elektrotechnologien, wovon die elektrochemische und elektroerosive Bearbeitung mit ihren Verfahrenskombinationen am häufigsten genutzt werden.

Obwohl die Gesetzmäßigkeiten und naturwissenschaftlichen Zusammenhänge des elektrochemischen wie auch elektroerosiven Metallabtrags schon inmitten der industriellen Revolution erkannt und untersucht worden sind, hat sich die Nutzanwendung der elektrotechnologischen Verfahren erst nach der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips durch *Werner von Siemens* (1816 bis 1892) im Jahre 1866 erkennbar durchgesetzt.

Für die theoretische Begründung der Elysiertechnik hat *Michael Faraday* (1791 bis 1867) in den Jahren 1833/34 durch seine Arbeiten auf dem Gebiet der Stoffumsetzung bei Elektrolysevorgängen die Grundvoraussetzungen geschaffen. Seit dieser für die theoretische und anwendungsorientierte Elektrochemie (EC) historische Etappe der Wissenschaftsentwicklung vergingen nahezu 130 Jahre bis zu den Anfängen der industriellen Nutzanwendung. Einen starken Impuls erhielt die EC-Technik in Richtung ihrer praktischen Verwertbarkeit durch das Patent von *Williams*, „Electrolytic Shapping" [1] im Jahre 1962. Die von ihm ausgearbeitete, in die Zukunft weisende EC-Verfahrenstechnologie führte in nahezu allen Industriestaaten der Welt zu einer steilen Aufwärtsentwicklung der elektrochemischen Metallbearbeitung.

Für die Fertigungstechnik in der DDR war es vor allem Prof. Dr. *Wicht* (Bild 1), der seit dieser Zeit große Anstrengungen unternahm, die zu diesem Zeitpunkt recht gut

Bild 1. Prof. Dr. sc. techn. *Hans Wicht*, Technische Universität Karl-Marx-Stadt, Begründer der ECM und Initiator für die EC-Kombinationsverfahren

bekannten elektrochemischen Zusammenhänge anodischer Reaktionen auf den gezielten Metallabtrag an schwer zerspanbare Werkstoffe zu übertragen.

Ausgehend von *Piranis* (1880 bis 1968) und *Schröters* (1886 bis 1973) ersten Versuchen zur ECM (1924) [2], dem von *Gusev* und *Rožkov* 1928 entwickelten Verfahren zum EC-Senken [3] sowie von dem Gusev-Patent „Method and Apparatus for the Treatment of Metals" (1930) [4], aber auch dem von dem sowjetischen Patent zur elektroerosiven Metallbearbeitung (1943) [5] erbrachte Prof. *Wicht* durch die Verfahrenseinführungen sowohl der ECM als auch der EDM den Beweis, wie über eineinhalb Jahrhundert alte Erkenntnisse der Grundlagenforschung durch den technischen Fortschritt und die zielgerichtete Werkstoffentwicklung zu unmittelbarer praktischer Bedeutung gelangen können. In [6] hat er zusammengetragen, welche Möglichkeiten die elektrochemische Metallbearbeitung der Maßbearbeitung stromleitender Werkstoffe eröffnet.

Prof. Dr. *Hans Wicht*, geboren am 15. Oktober 1923 in Schloßvippach in Thüringen, erlernte den Beruf eines Werkzeugmachers. Dadurch wurde er schon von frühester Jugend an mit der Bearbeitung metallischer Werkstoffe vertraut. Durch eine nach 1945 an der Technischen Hochschule Dresden erhaltene Diplomchemiker-Ausbildung wurde nicht nur sein chemisch-physikalisches Verständnis zu den metallischen Werkstoffen geschult, sondern auch die wissenschaftliche Basis für die abtragenden Materialbearbeitungsverfahren mit elektrochemischen und elektrophysikalischen Effekten vermittelt.

Prof. *Wicht*, der ehemalige Studiendirektor an der Arbeiter-und-Bauern-Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena sowie spätere Direktor der Arbeiter-und Bauern-Fakultät der Hochschule für Maschinenbau Karl-Marx-Stadt bzw. Prorektor für Studienangelegenheiten der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt beschäftigte sich auch an dieser 1836 als Königliche Gewerbeschule Chemnitz begründeten Bildungseinrichtung frühzeitig mit den Problemen einer effektiven Metallbearbeitung insbesondere für den Maschinenbau. Gefördert wurde das durch die schon Mitte der 60er Jahre an der TH Karl-Marx-Stadt ausgeprägten Hochschul-Industrie-Partnerschaften. Durch die zunehmende industrielle Nutzung von schwer bearbeitbaren Werkstoffen mit (zum Teil) komplizierten Werkstückformen traten in der Metallbearbeitung bei den konventionellen Fertigungsverfahren Bearbeitungsgrenzen auf. Zur Lösung dieser Bearbeitungsprobleme wurde die TH Karl-Marx-Stadt immer mehr forschungsseitig einbezogen. Hierbei hat Prof. *Wicht* unter hohem persönlichem Einsatz als Angehöriger der TH Karl-Marx-Stadt bei der Entwicklung der ersten in der DDR gebauten und industriell genutzten ECM-Anlage zum elektrochemischen Senken (Bild 2) im VEB Armaturenkombinat „Karl Marx" in Magdeburg Pionierarbeit geleistet. In vorbildlich von ihm geführter sozialistischer Gemeinschaftsarbeit zwischen Hochschule und Praxis wurden die Schwierigkeiten bei der Einführung dieses Fertigungsverfahrens überwunden und viele

Literatur

[1] *Artem-ev, D. E.; Tischodeev, N. N.; Šur, S. S.:* Koordinacija izoljacii linij èlektroperedači. Leningrad: Verlag Énergija 1966
[2] IEC-Publ. 71-2 (2. Ausg. 1976): Insulation coordination, application guide
[3] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Berlin: VEB Verlag Technik 1984
[4] *Smirnow, N. W.; Dunin-Barkowskij, I. W.:* Mathematische Statistik in der Technik. Berlin: Verlag der Wissenschaften 1963
[5] *Müller, P. H.; Neumann, P.; Storm, R.:* Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973
[6] *Korn, G.; Korn, T.:* Mathematical Handbook. New York/Toronto/London: Mc Graw-Hill Book Comp. 1961
[7] *Korn, G.; Korn, T.:* Spravočnik po matematike. Moskau: Verlag Nauka 1968
[8] *Cramér, H.:* Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press 1946
[9] *Cramér, H.:* Matematičeskie metody statistiki. Moskau: Verlag Mir 1975
[10] *Müller, P. H.* (Hrsg.): Lexikon der Stochastik (2. Aufl.). Berlin: Akademie-Verlag 1975
[11] *Blume, J.:* Statistische Methoden für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Düsseldorf: VDI-Verlag 1970
[12] *Rasch, D.:* Einführung in die mathematische Statistik, Bd. II. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1984
[13] *Bol'šev, L. N.; Smirnov, N. V.:* Tablicy matematičeskoj statistiki. Moskau: Verlag Nauka 1983
[14] *Anderson, T. W.; Darling, D. A.:* Asymptotic theory of certain „goodness of fit" criteria based on stochastic processes. Annals of Math. Stat. Vol. 23 (1952), S. 193–212
[15] *Romanovskij, V. I.:* Matematiceskaja statistika. Taschkent: Verlag der AdW der Usbek. SSR 1963
[16] *Hahn, G. J.; Shapiro, S. S.:* Statistical Models in Engineering. New York/London/Sidney: John Wiley and Sons 1967
[17] *Hahn, G. J.; Shapiro, S. S.:* Statističeskie modeli c inženernych zadačach. Moskau: Verlag Mir 1969
[18] *Jahnke/Emde/Lösch:* Tafeln höherer Funktionen. Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1960
[19] *Gradštejn, I. S.; Ryžik, I. M.:* Tablicy integralov, summ, rjadov i proizvedenij. Moskau: Fizmatgiz 1963
[20] *Hoy, Chr.:* Beanspruchungsgrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf UHV-Übertragungen. Teil 1: ELEKTRIE 37 (1983) 7, S. 351–353; Teil 2: ELEKTRIE 37 (1983) 8, S. 417–421
[21] *Hoy, Chr.:* Über den Zusammenhang zwischen Leiter-Leiter-Einschaltüberspannungen und ihren Leiter-Erde-Komponenten auf EHV-Übertragungen. ELEKTRIE 40 (1986) 3, S. 107–110
[22] *Hoy, Chr.:* Über die stochastischen Bindungen zwischen den Beanspruchungskenngrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf EHV-Übertragungen. ELEKTRIE 40 (1986) 5, S. 185–187

EA 5754

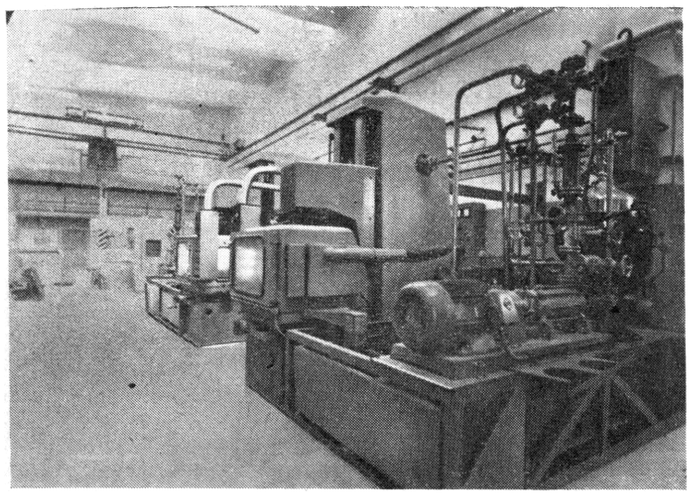


Bild 2. DDR-Erstentwicklung einer 10000-A-Elysiersenkanlage. VEB Armaturenkombinat „Karl Marx" Magdeburg, 1965. Foto: Werkfoto

Tafel 3. Metallabtragraten beim ECETM-Schleifen für ausgewählte Werkstoffe [8] [9] ▶

Werkstoff	Steigerungsfaktor des Metallabtrages
Chrom-Nickel-Stahl	1,9
Messing	2,9
Kohlenstoffstahl	4,7
Aluminium	20,4
Kupfer	38,7
Schleifkörperparameter:	
Durchmesser	D = 200 mm
Dicke	d = 20 mm
Körnung	100
Material	Edelkorund vernickelt
Probenkörperdurchmesser	d_p = 10 mm

Tafel 1. Ursache und Wirkung des elektrochemischen, elektroerosiven und mechanischen Metallabtrags mit einem rotierenden Werkzeug [7]

Verfahren	Kurzbezeichnung	Ursache des Metallabtrags	Wirkung	Wirkmedium
Elektrochemischer Metallabtrag	ECM	Stromfluß in einer elektrolytischen Zelle	Chemische Reaktionen an den Elektrodengrenzflächen	Elektrolytlösung
Elektroerosiver Metallabtrag	EDM	Elektrische Entladungsvorgänge zwischen den Elektroden	Thermischer Effekt in der Wirkspaltzone	Dielektrikum
Mechanischer Metallabtrag	M	Umgangsgeschwindigkeit der stromleitenden Metallscheibe	Abtransport der Reaktionsprodukte aus der Wirkspaltzone	

Tafel 2. Grundverfahren der elektrochemisch-elektrothermisch-mechanischen sowie elektroerosiv-elektrothermisch-mechanischen Bearbeitung und deren Verfahrensvarianten [7]

Grundverfahren I — ECETMM		Grundverfahren II — EEETMM	
Elektrochemisch-elektrothermisch-mechanischer Metallabtrag		Elektroerosiv-elektrothermisch-mechanischer Metallabtrag	
Kurzbezeichnung	Verfahrensbezeichnung	Kurzbezeichnung	Verfahrensbezeichnung
ECETMBü	Elektrochemisch-elektro-thermisch-mechanisches Bürsten	EEETMBü	Elektroerosiv-elektro-thermisch-mechanisches Bürsten
ECETMSchn	Elektrochemisch-elektro-thermisch-mechanisches Schneiden	EEETMSchn	Elektroerosiv-elektro-thermisch-mechanisches Schneiden
ECETMBo	Elektrochemisch-elektro-thermisch-mechanisches Bohren	EEETMBo	Elektroerosiv-elektro-thermisch-mechanisches Bohren
ECETMPo	Elektrochemisch-elektro-thermisch-mechanisches Polieren	EEETMPo	Elektroerosiv-elektro-thermisch-mechanisches Polieren
ECETMSchl	Elektrochemisch-elektro-thermisch-mechanisches Schleifen	EEETMSchl	Elektroerosiv-elektro-thermisch-mechanisches Schleifen

Einsatzgebiete erschlossen. Von ihm wurden gemeinsam mit Praktikern der Metallbearbeitung, aber auch unter Einbindung von Studenten, sowohl die Vorgänge der anodischen Metallauflösung und auch das schwierige Gebiet der Hydrodynamik untersucht, das bei der Strömung der Elektrolytlösung durch den Arbeitsspalt zwischen Werkstück (Anode) und Werkzeug (Katode) von großer Bedeutung ist, für die Gestaltung von Elektroden beim Elysier-Senken und -Entgraten für die praktische Anwendung aufbereitet. Die gesammelten Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse flossen zu seiner 1971 an der TH Karl-Marx-Stadt verteidigten Dissertation zur Promotion A über „Experimentelle Untersuchungen von Elysierkatoden" [6] zusammen.

Die mit der wissenschaftlichen Werkstoffentwicklung einhergehenden sich verbessernden Werkstoffkennwerte bezüglich der Härte und Festigkeit ließen die Bearbeitungsgrenzen für die spanenden Metallbearbeitungsverfahren immer deutlicher werden. Die Forderung nach neuen Wirkprinzipien in der Fertigungstechnik wurde immer zwingender. So orientierte Prof. *Wicht* bereits zu Beginn der 70er Jahre auf die Entwicklung und Anwendung des kombinierten Metallabtrags, da die für die Metallbearbeitung erforderliche Produktivitätssteigerung weder bei der ECM noch bei der EDM durch alleinige Verfahrensoptimierung zu erreichen ist. Die Vielfalt seiner entwickelten, anwendbaren Kombination von Abtrageffekten in der Metallbearbeitung sind in der von ihm 1980 an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg verteidigten Dissertation zur Promotion B mit dem Titel „Beitrag zum elektrochemisch und elektrochemisch-elektrothermisch-mechanischen Schneiden" [7] zusammengestellt und für die Nachnutzung aufbereitet.

Die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Arbeit mündeten in einigen hundert im rationellen Produktionseinsatz stehende elektrochemische und EC-kombinierte Bearbeitungsmaschinen. Viele Anstöße für seine wissenschaftliche Arbeit hat Prof. *Wicht* aus der Arbeit sowjetischer Wissenschaftler abgeleitet, von denen er zum Beispiel Teile der Theorie anodenmechanischer Bearbeitungsverfahren übernommen hat und zur Verfahrenskombination weiterentwickelte (Bild 3, Tafeln 1 und 2).

Durch die Anwendung der von ihm geschaffenen Lösungsvarianten in nahezu 600 Betrieben konnte ein beachtlicher volkswirtschaftlicher Nutzen erzielt werden. Beispielsweise lassen sich mit dem unter seiner Federführung für den VEB Fritz-

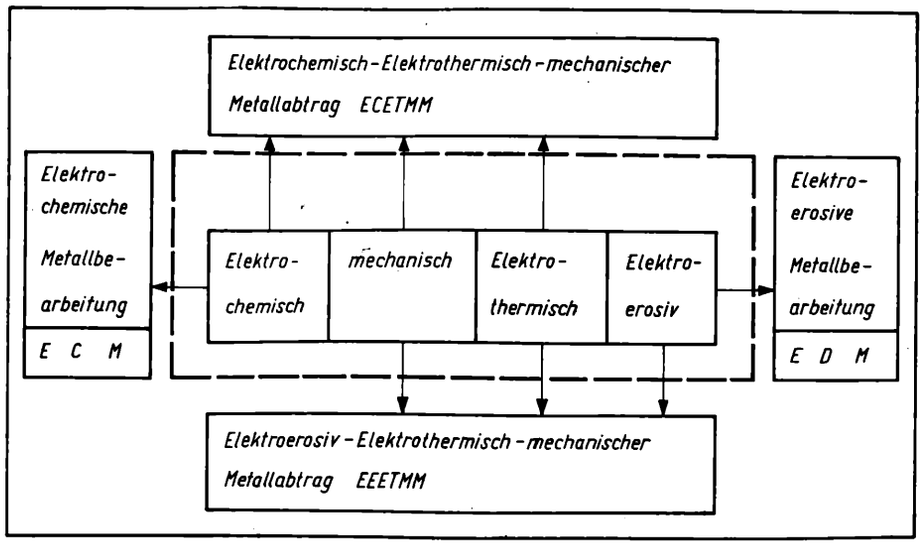


Bild 3

Heckert-Kombinat Karl-Marx-Stadt im Kreisjugendobjekt „Fräsen" entwickelten „Elektrochemisch-elektrothermisch-mechanischen Abtragen stromleitender Werkstoffe" [8] gegenüber dem herkömmlichen Schleifen deutlich höhere Metallabtragraten erzielen (Tafel 3).

Diese Ergebnisse werden dadurch erzielt, daß beim ECETM-Abtragen auf die Metallabtragrate mehrere Wirkungen gleichzeitig, paarweise oder nacheinander einwirken, z. B. die elektrothermische, die chemische, z. T. die elektrochemische, mechanische.

Ein besonders hervorzuhebendes Charakteristikum der Wissenschaftlerpersönlichkeit Professor *Wicht* ist seine unabdingbare Aufgeschlossenheit gegenüber allen Entwicklungsproblemen der Arbeiterklasse. So ist aus den von ihm für die Entwicklung der Elektrotechnologien ECM- und EC-Kombinationsverfahren erbrachten Leistungen die Gemeinschaftsarbeit, ausgehend vom Neuererwesen bis hin zu den Patentanmeldungen mit Arbeitern, Meistern, Technologen und Ingenieuren sowie auch Studenten deutlich nachvollziehbar. Diese auch international anerkannten Ergebnisse sind in 70 Patentanmeldungen und 16 speziellen in die Praxis überführte Verfahrensvarianten der Elysiertechnik wiederzufinden. Sein Expertenwissen ist gleichfalls mit in das von *Degner* u. a. herausgegebene Buch der Reihe Betriebspraxis „Elektrochemische Metallbearbeitung" [10] mit eingeflossen. Seine wissenschaftlichen Ergebnisse bildeten eine wissenschaftliche Basis sowohl für das von *Conrad* und *Krampitz* herausgegebene Fachbuch „Elektrotechnologie" [11] als auch das von *Degner* verfaßte Handbuch „Feinbearbeitung" [12].

Besondere Wertschätzung verdient die von Prof. Dr. *Wicht* ausgehende Integration in der Zusammenarbeit verschiedener Hochschuleinrichtungen, wie der TU „Otto von Guericke" Magdeburg, TH Ilmenau, IHS Mittweida u. a. mit der TU Karl-Marx-Stadt, d. h. den wissenschaftlichen Zentren der Elektrotechnologien im Hochschulbereich der DDR.

Kennzeichnend für ihn ist auch, daß in praktisch allen Betrieben und Forschungseinrichtungen, die sich mit Methoden der elektrochemischen Metallbearbeitung beschäftigen, Mitarbeiter zu finden sind, die von ihm ausgebildet oder beraten wurden.

Als Initiator der Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Ausnutzung der Rationalisierungseffekte nichtkonventioneller Metallbearbeitungsverfahren erhielt er wohl mit der im Jahre 1983 erfolgten Berufung zum außerordentlichen Professor für das Fachgebiet „Werkstoffwissenschaft" (Werkstoffbearbeitung und -veredlung) die größte Wertschätzung.

Prof. *Wicht*, der in fast drei Jahrzehnten maßgeblichen Anteil an der in der Fertigungstechnik der DDR auch immer spürbarer werdenden Einflußnahme der Elektrotechnologien hat, kann zuerkannt werden, der Begründer der ECM und Entwickler der EC-Kombinationsverfahren zu sein.

Literatur

[1] *Williams, L. A.:* Electrolytic Shapping. USA-Patent Nr. 3 058 895 vom 16. 10. 1962

[2] *Pirani, M.; Schröter, K.:* Elektrochemische Formgebung von harten metallischen Gegenständen. Metallkunde 16 (1924) 4, S. 132 und 133

[3] *Gusev, V. N.; Rožkov, L. A.:* Avtorskoe svidetelstvo. UdSSR-Patent Nr. 28 384 vom 21. 03. 1928

[4] *Gusev, V. N.:* Method and Apparatus for the Electrolytic Treatment of Metals. Brit.-Pat. Nr. 335 003 vom 18. 09. 1930

[5] *Lazarenko, B. R.; Lazarenko, N. J.:* Elektrische Erosion von Metallen (russ.). Moskau: „Gosenergoizdat" 1944

[6] *Wicht, H.:* Experimentelle Untersuchungen von Elysierkatoden. Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1971

[7] *Wicht, H.:* Beitrag zum elektrochemischen und elektrochemisch-elektrothermisch-mechanischen Schneiden. Dissertation B, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1980

[8] *Lemser, H.:* Beitrag zum ECETM-Schleifen. Ingenieurpraktikumsarbeit, TH Karl-Marx-Stadt 1979

[9] *Lehmann, M. M.:* Beitrag zum Herstellen stromleitender Schleifkörper zum ECETM-Schleifen. Ingenieurpraktikumsarbeit, TH Karl-Marx-Stadt 1979

[10] *Degner, W.*, u. a.: Reihe Betriebspraxis Elektrochemische Metallbearbeitung. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[11] *Conrad, H.; Krampitz, R.:* Elektrotechnologie. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[12] *Degner, W.:* Handbuch Feinbearbeitung. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

W. Piersig, Annaberg-Buchholz

EA 5958

AUSSTELLUNGEN

Internationale Ausstellungen für Schweißtechnik WELDING '88 und für Robotertechnik ROBOT '88 in Brno (ČSSR)

Die im 2-Jahres-Turnus auf dem Messegelände in Brno stattfindenden Ausstellungen werden in effektiver Weise durch parallel dazu laufende wissenschaftlich-technische Begleitprogramme ergänzt. Das gleiche gilt für die internationale Ausstellung AUTOPROGRESS für Kfz-Technik und die im 4-Jahres-Turnus organisierte internationale Ausstellung MONTEX für Mechanisierung und Automatisierung von Montageprozessen.

Neben der ČSSR mit 251 Ausstellern beteiligten sich 32 Aussteller aus dem sozialistischen und 119 aus dem nichtsozialistischen Wirtschaftsgebiet an den vier Ausstellungen auf einer Fläche von etwa 13300 m².

Die insgesamt 19 Konferenzen wurden von 2124 Fachleuten der ČSSR und 145 aus dem Ausland besucht.

In den drei Sektionen des Kongresses WELDING '88, die sich mit

— Schweißrobotern
— Regenerierung von Maschinenteilen und
— zerstörungsfreier Prüfung von Schweißnähten

befaßten, bestätigte sich der weltweit anhaltende Anstieg der Industrierobotertechnik ebenso wie auf den vier Konferenzen (Sektionen) des Kongresses ROBOT '88.

Ende des Jahres 1986 sollen weltweit 145000 Industrieroboter im Einsatz gewesen sein. Allein in Japan waren es 90000, mit Abstand folgten die USA mit 27000, die BRD mit 12400 Industrierobotern sowie Frankreich, Großbritannien und Italien. Als bedeutendste Hersteller von Lichtbogen- und Widerstandsschweißrobotern gelten die Firmen GFM (USA), NIKO (Japan) und ASEA (Schweden). In jüngster Vergangenheit setzten sich weitere Firmen durch, darunter IGM (Österreich), NEI (Großbritannien), KUKA und CLOOS (BRD) sowie CINCINNATI, MILAORON und PRAB (USA).

Es ist zu verzeichnen, daß zunehmend Laser- und Plasmasysteme in Erscheinung treten ebenso wie industrieroboterbestückte technologische Komplexe, letztere insbesondere in Ländern mit einer entwickelten Automobil-, Traktoren- und Landmaschinenindustrie. Neben der Automatisierung der Schweißprozesse wurde auch der Mechanisierung bei der Schweißung von Großteilen, der vollautomatischen Schutzgasschweißung sowie der geplanten vollautomatischen Schweißung von Skoda-Bauteilen großes Augenmerk geschenkt. Im Zusammenhang mit der Bauteile-Regenerierung wurden die Fachleute unter anderem über Plasma- und Lichtbogenauftragsschweißung von Metallpulver sowie Zusatzwerkstoffe aus Kupferlegierungen für Reparaturschweißungen informiert. Auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung standen unter anderem die Problemkreise der Ultraschall- und Röntgenkontrolle sowie die von DDR-Vertretern vorgestellte thermographische Defektoskopie unter Verwendung von Flüssigkristallen im Vordergrund.

Auf dem Fachkongreß ROBOT '88 befaßten sich über 300 Fachleute aus der ČSSR, der VR Polen, der Sowjetunion, der DDR und Großbritannien in vier Sektionen mit folgenden Problemkreisen:

1. Sektion

Entwicklung und Konstruktion von Industrierobotern und Manipulatoren

Der Erfahrungsaustausch über Projektierungsmethoden beim Entwurf von Funktionselementen und kompletten Systemen der Industrierobotertechnik sowie neue Prinzipien der mechanischen Konstruktion und Informationsverarbeitung erstreckten sich auf die Bereiche

— Methoden der Parameterbestimmung von Industrieroboter- und Manipulatorkonstruktionen
— progressive Konstruktion von Industrierobotern und -baugruppen
— Konstruktion prozeßspezifischer Industrieroboter
— Konstruktion von Greifern und technologischen Arbeitsorganen, darunter Montagehände
— Steuerungstechnik und sensorische Ausrüstung automatisierter Fertigungseinrichtungen.

2. Sektion

Erfahrungen beim Einsatz von Industrierobotern

Die Beiträge waren sowohl auf Werkstückhandhabung als auch Automatisierung technologischer Prozesse, Farbgebung, Montage sowie Oberflächenbehandlung und andere Verfahren mit Industrierobotern ausgerichtet. In den Jahren 1981 bis 1985 wurden in der ČSSR 2015 Vorhaben realisiert und dabei 4578 Industrieroboter in Betrieb genommen. Unter diesem Blickwinkel enthielten die Vorträge

— neueste internationale Trends auf dem Gebiet der Industrierobotertechnologie
— Einsatzvorbereitung für die Robotertechnik im Zuge der Modernisierung der Fertigungseinrichtungen im Maschinenbau
— Erfahrungen bei Entwurf, Projektierung und Einsatz der Industrierobotertechnik in Fertigungssystemen des Maschinenbaus
— Tendenzen des Robotereinsatzes bei der komplexen Automatisierung
— spezifische Bedingungen auf technischem, ökonomischem, sozialem und organisatorischem Gebiet bei effektivem Einsatz der Industrierobotertechnik im Produktionsprozeß und
— technisch-ökonomische Parameter bei der Schaffung von Fertigungseinrichtungen und -systemen mit Industrierobotern.

In den kommenden fünf Jahren soll sich die Gesamtzahl der eingesetzten Industrieroboter auf 7290 Stück in der ČSSR erhöhen.

3. Sektion

Weiterentwicklung der Robotertechnik außerhalb des Maschinenbaus

Dieser Fachkongreß war dem Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen bei der Vorbereitung, Projektierung und Einführung automatisierter technologischer Arbeitsplätze und Fertigungssysteme unter Anwendung von Industrierobotern gewidmet.
Er bezog sich auf die Gebiete
— Konsumgüterindustrie (Textil-, Leder-, Holzverarbeitungs-, Glas-, Keramik- und polygraphische Industrie)
— chemische, Gummi- und Papierindustrie
— Baustoffindustrie
— Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie
— Arzneimittelherstellung und Sanitätsartikelproduktion und
— Handhabung und Lagerung im Handelsbereich u.a.m.

4. Sektion

Komplexe Automatisierung der Produktion

Dieser vierte Kongreßteil fand in diesem Jahr erstmalig statt und trug dem internationalen Trend zur durchgängig automatisierten Fertigung (CIM) Rechnung. Die Vorträge befaßten sich mit folgenden Problemkreisen:

— Konzeption und Systemvorbereitung bei der Realisierung komplexer Automatisierungsvorhaben
— Tendenzen bei der komplexen Automatisierung in der ČSSR und in anderen Ländern
— Erfahrungen bei der Realisierung komplexer Automatisierungslösungen
— komplexe Automatisierung von Transport-, Umschlags- und Lagerprozessen
— Effektivität und Betriebssicherheit bei der komplexen Automatisierung
— soziale und humanitäre Probleme bei der komplexen Automatisierung und
— Integration von CAD, CAM und CIM.

Internationalen Maßstäben für die attraktive Untermalung der Vorträge folgend, bot der Veranstalter die Möglichkeit zur Vorführung von Videofilmen.
Aus dem weit gespannten Rahmen und vielseitigen Charakter der interessanten Vorträge sollen im folgenden nur einige bedeutsam erscheinende Aspekte des viertägigen Vortragsprogramms herausgegriffen werden:

• Die Tendenz zum stärkeren Einsatz von Elektroantrieben hält weiter an.
• Auch beim Einsatz elektrischer Schrittmotoren kommen zunehmend Meßsysteme zur Positionskontrolle und Verbesserung der Zuverlässigkeit zur Anwendung (geschlossener Regelkreis).
• Beweglichkeit und Arbeitsbereiche der Industrieroboter werden erweitert durch das Verfahren der Industrieroboter auf Konsolen, Traversen bzw. Portal- und Brückenkonstruktionen.
• Palettenstapeleinrichtungen und -manipulatoren verlängern die ununterbrochene Arbeitsdauer an den Industrieroboter-Arbeitsplätzen.
• Der Trend zur komplexen Automatisierung zeichnet sich bereits stark ab.
• Zunehmend kommen Industrieroboter bei Montageprozessen zum Einsatz, jedoch erst bei kleinen bis mittleren Werkstückabmessungen und -massen.
• CAD/CAM-Anwendungen bei Industrieroboterprojekten für Entwurf und Simulation
• Optimierung der Greifergestaltung nach technologischen Aspekten
• Modulare Bauweise für Montagestationen und Großraummanipulatoren
• Industrierobotersteuerungen werden häufig nach technologischen Anforderungen aufgebaut und konfiguriert.
• Psychodiagnostische Methoden helfen bei der Auswahl des Bedienpersonals an industrieroboter-automatisierten Fertigungsabschnitten.
• Schaffung von Lehr- und Lernarbeitsplätzen mit Industrierobotern.

Im Ergebnis der zweitägigen **Konferenz MONTEX '88,** die der weiteren Automatisierung und Mechanisierung gewidmet war, kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß bei der Lösung derartiger Aufgaben zur Schaffung flexibler Produktionssysteme künftig neben technischen und ökonomischen auch gesellschaftliche, medizinische und psychologische Kriterien stärker in Betracht zu ziehen sind. Die Vorträge befaßten sich schwerpunktmäßig mit Forschungsergebnissen und zukünftigen Aufgabenstellungen des Forschungsinstituts VUMA. Bereits vor Jahrzehnten erfolgte hier die Entwicklung und Fertigung von Mechanisierungs- und Automatisierungseinrichtungen. In den 70er Jahren begann die Einführung des Baukastenprinzips, und es entstanden auch automatisierte Montagesysteme. VUMA arbeitet gegenwärtig an der Weiterentwicklung freiprogrammierbarer Montageeinrichtungen für elektrotechnische Erzeugnisse auf der Basis der Industrierobotertechnik und Mikroelektronik.
Im Zuge der Fachveranstaltungen sollte das
— Antriebstechnische Symposium
nicht unerwähnt bleiben. Die Veranstaltung war ausgerichtet auf die Demonstration
— elektrischer Servoantriebe der Firma Stromag (Österreich) für Industrieroboter und Manipulatoren und
— hochübersetzender leistungsstarker Getriebe der Firma CYCLO-Getriebebau Markt Indersdorf (BRD).

Die 9. internationale **Fachausstellung für Schweißtechnik WELDING '88** zeigte deutlich, daß sich auf dem Gebiet der Lichtbogenschweißquellen der Einsatz der Mikroelektronik zur Programmierung der Grundschweißparameter durchsetzt, wodurch Energieeinsparungen, Qualitätssteigerung und Arbeitserleichterungen erzielt werden. Der Einsatz von Industrierobotern als eine der Grundvoraussetzungen für die durchgängige Automatisierung rückt immer stärker in den Vordergrund.
Die DDR-Schweißtechnik präsentierte sich mit 27 verschiedenen Elektroschweiß- und Schneidgeräten. Einige Spitzenexponate sollen im Überblick vorgestellt werden.

— Die von Industrierobotern geführten Roboterschweißbrenner ROB 250S bzw. ROB 500F haben eine hohe Wiederholgenauigkeit bei nur 0,15 mm Koaxialitätsabweichung sowie Sensoranschlußmöglichkeit. Ihr Einsatz ist international an allen Schweißmaschinen und Drahtvorschubeinrichtungen (zwei Anschlußsysteme) möglich.

— Der Sauerstoff-Lichtbogenschneidbrenner PT 500 ist für höchstlegierte Stähle und Buntmetalle von 50 bis 150 mm Dicke einsetzbar. Er ist an alle konventionellen Stromquellen bis 1000 A anschließbar.

— Die im VEB Elektroschweißtechnik Dresden hergestellte Drahtgitterschweißmaschine DP 75pon wird auch in die ČSSR exportiert.

— Der VEB Elektroschweißmaschinenwerk Aue bot Widerstandspunktschweißmaschinen des Typs P200pn-2 und P63pn in den Leistungsklassen 19 und 10 kVA an. Bei diesem hochproduktiven präzisen Fügeverfahren ohne Zusatzwerkstoffe werden die zu verbindenden Metallteile mit hohem Strom in kurzer Schweißzeit zwischen zwei pneumatisch zusammenfahrenden Elektroden verbunden.

— Für Montage- sowie Werkstattbetrieb ist das vom VEB Mansfeld-Kombinat, Anlagen- und Gerätebau Eisleben, vorgestellte Schutzgashandschweißgerät MSG60S/1 bestens geeignet.

— Die Plasmaschmelzschneidanlage PA 12 des VEB Schweißtechnik Finsterwalde im Mansfeld-Kombinat, die zum Schneiden hochlegierter Stähle, Legierungen und anderer Metalle bis zu 25 mm Dicke geeignet ist und auch zum Bohren, Einstechen sowie als flexibler Modul für NC- und CNC-gesteuerte Fertigungssysteme eingesetzt werden kann, wurde mit einem Diplom ausgezeichnet.

— Diese Ehrung erhielt auch das Widerstandslötgerät des VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow im Kombinat Automatisierungsanlagenbau, das insbesondere unter Baustellenbedingungen zum Löten von Rohren mit 6 bis 16 mm Außendurchmesser (maximal 88 mm² Rohrstirnfläche) aus un- und niedriglegierten Stählen sowie zum Schweißen/Löten dieser Rohre (maximal 65 mm² Rohrstirnfläche) aus hochlegierten Stählen und zur Herstellung von Austenit-Ferrit-Verbindungen einsetzbar ist.

Zu den interessantesten Exponaten des polnischen Außenhandelsunternehmens „Metalexport" gehört eine komplette Schweißanlage, die mit einem Industrieroboter IRp-6, einem Positioniertisch SPOp-150 und der Schweißeinrichtung ZUS-2 ausgestattet ist. Sie eignet sich besonders für das automatische MIG/MAG-Schweißen kompliziert geformter Teile bis 150 kg Masse

einschließlich Vorrichtung auch bei unterschiedlich angeordneten Nähten. Am Positioniertisch sind fünf verschiedene Programme für Schweißparameter automatisch wählbar. Die Programmierung des zentralen Arbeitspunktes (TCP) kann im Dialog in kartesischen, Zylinder- oder inneren Industrieroboterkoordinaten erfolgen. Der IRp-6 kann außer zum Lichtbogen- und Punktschweißen auch zur Beschickung von Dreh-, Fräs- und Gießmaschinen sowie Pressen und neben Palettierung und Montage auch zum Schleifen, Entgraten, Putzen und Polieren eingesetzt werden.

Auch die 6. internationale **Fachausstellung für Industrieroboter ROBOT '88** bestätigte den Trend zum Industrierobotereinsatz in flexiblen Fertigungssystemen, die auf die Integration in vollautomatische Betriebe ausgerichtet sind. Demgemäß war die Ausstattung mit Adaptern, Sensoren und Sicherheitssubsystemen zur Erweiterung der Anwendungsgebiete der Industrieroboter deutlich erkennbar. Der automatische Wechsel von Greifern bzw. Industrieroboterhänden wird in technologischen Abschnitten zur Norm.

Hinsichtlich der angewendeten Industrieroboterstrukturen ist ein deutlicher Trend zu Gelenkrobotern erkennbar, deren parallele Drehachsen senkrecht angeordnet sind. Wie schon vor zwei Jahren stellten auch Hochschulen der ČSSR eigene Forschungsergebnisse vor. Für den von TESLA VRUSE angebotenen Montageroboter ROTES 2-01 hat die Technische Hochschule Bratislava die Software erarbeitet. Auch an der Technischen Hochschule Brno befassen sich mehrere Lehrstühle mit der Industrierobotertechnik. Die TH stellte den Portalroboter PRKM 20 aus, der durch Schrittmotoren (Z42 und ZZ128) angetrieben und von der Mikrorechnersteuerung SAPI-1 gesteuert wird.

Die internationale wissenschaftliche und Produktionsvereinigung (IWPV) ROBOT Presov, der neun tschechoslowakische und sechs sowjetische Unternehmen angehören, präsentierte sich unter anderem mit dem elektrisch angetriebenen Portalroboter M20Z in Zusammenarbeit mit der Palettenstapelvorrichtung TNU 1. ROBOT übernimmt den gesamten Entwurfs-, Projektierungs- und Realisierungsprozeß für die Automatisierung von Bearbeitungs-, Umformungs-, Schweiß- und Montageprozessen vom Vorprojekt über Konstruktion, Fertigung, Lieferung, Montage bis hin zur Inbetriebnahme. Die Fertigung der Palettenstapelvorrichtungen TNU 1 sowie TNU 2 erfolgt in dem sowjetischen Betrieb in Mukatschewo; für Entwicklung und Absatz ist die IWPV ROBOT Presov verantwortlich. Ein weiteres Beispiel der tschechoslowakisch-sowjetischen Zusammenarbeit ist der technologische Industrieroboter PM 01 zum Wasser- und Abrasivstrahlschneiden (FLOW-System — sog. „Paser") für unterschiedlichste Werkstoffe von Textilien, Leder, Plaste, Gummi bis hin zu Metallen, Glas und kombinierten Materialien. Der sowjetische Industrieroboter wird im Rahmen der IWPV ROBOT von dem tschechoslowakischen Betrieb Metaz Pruhonice mit der Wasserstrahltrennvorrichtung (Lizenz) bestückt, getestet und vertrieben.

Der VEB Kombinat Robotron stellte als DDR-Vertreter auf der ROBOT '88 den weiterentwickelten Industrieroboter PHM 50 (Vorläufer PHM 41) aus.

Die Genauigkeit bei der Positionierung der Schrittmotorenantriebe wird mit inkrementalen Gebern überwacht (geschlossener Regelkreis!).

Auf dem Gebiet der Sensorik sind zwei Exponate aufgefallen:

1. Ein 6-Komponenten-Kraft-Momenten-Sensor auf der Basis von Dehnmeßstreifen vom Typ K-6/c- . . . in vier Baugrößen von der ungarischen Firma Kaliber-Müscer-ES Merestechnika und
2. die mit einer Goldmedaille ausgezeichnete neuentwickelte Baureihe optoelektronischer und Lichtwellenleiter-Sensoren mit den Typen OSS, ODS-01 und PS-1 vom Forschungsinstitut VUKOV-Presov. Der Produktionsanlauf dieser vorgestellten Baureihe soll noch in diesem Jahr in der ČSSR erfolgen.

Bekanntlich ist die Mechanisierung und Automatisierung von Montageprozessen gegenwärtig aktueller denn je. Auf Montageoperationen entfallen im Maschinenbau und in der Elektrotechnik mehr als 50% des gesamten Arbeitsaufwandes. Die technische Ausstattung vieler Arbeitsplätze entspricht nicht den gegenwärtigen Möglichkeiten der Mechanisierung und Automatisierung. Da eine konsequente Trennung von Montage und Handhabungsaufgaben anderer Art kaum möglich ist, ergibt sich eine enge Verbindung der Ausstellung MONTEX '88 zur ROBOT '88. Repräsentative Beispiele der MONTEX '88 sind das flexible modulare industrieroboterbestückte Montagesystem RSM 1 des VUKOV-Konzerns für die Montage von Baugruppen bis zu 2,5 kg Masse und der adaptive Montageroboter PR 300 von der ZTS MARTIN mit 300 N Tragkraft und $\pm$ 0,1 mm Positionierfehler der elektrischen Antriebe.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2847

TAGUNGEN

Sternpunktbehandlung in 10- bis 110-kV-Netzen

ETG Fachtagung

Der Fachausschuß 2 „Übertragung und Verteilung elektrischer Energie" (Vorsitzender: Prof. *Müller* von den VEW) der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE führte am 18. und 19. Mai 1988 in der Stadthalle Braunschweig unter der wissenschaftlichen Tagungsleitung von *H. Klockhaus* (RWE) die Fachtagung „Sternpunktbehandlung in 10- bis 110-kV-Netzen" durch. Sie wurde von 504 Fachkollegen aus allen EVU und Stadtwerken, vielen Kraftwerken und Industriebetrieben, Forschungsinstituten, den Hoch- und Fachschulen und maßgebenden Herstellerbetrieben elektrotechnischer Betriebsmittel der BRD besucht und von 31 Gästen aus 8 anderen europäischen Ländern. Dem Einführungsvortrag vom Prof. *Hosemann* folgten weitere 12 Vorträge in 3 Themengruppen, die von profilierten Hochschullehrern geleitet wurden. Alle Beiträge liegen als ETG-Fachbericht Nr. 24 gedruckt vor, deshalb wird im folgenden nur ein kurzer Abriß gegeben. Im Einführungsvortrag bewertet *Hosemann* (Universität Erlangen) die Arten der Sternpunkterdung (SPE) — ausgehend von den strom- und spannungsabhängigen sowie betriebs- und verbrauchsabhängigen Forderungen an eine optimale Sternpunktbehandlung — und schätzt ein, daß Netze mit freiem Sternpunkt (SP) international nur für Netze kleiner Ausdehnung vorgesehen werden sollen und die Entscheidung, ob man bei wachsender Netzgröße auf Resonanz-SPE (RESPE) oder niederohmige SPE (NOSPE) übergehen soll, bisher nicht immer von der Logik bestimmt wurde. Da das technische Risiko im einfachsten Fall als Produkt aus Schadensumfang und -häufigkeit anzusehen ist, können beide Wege zur erfolgreichen Gefahrenabwehr und Risikominimierung führen.

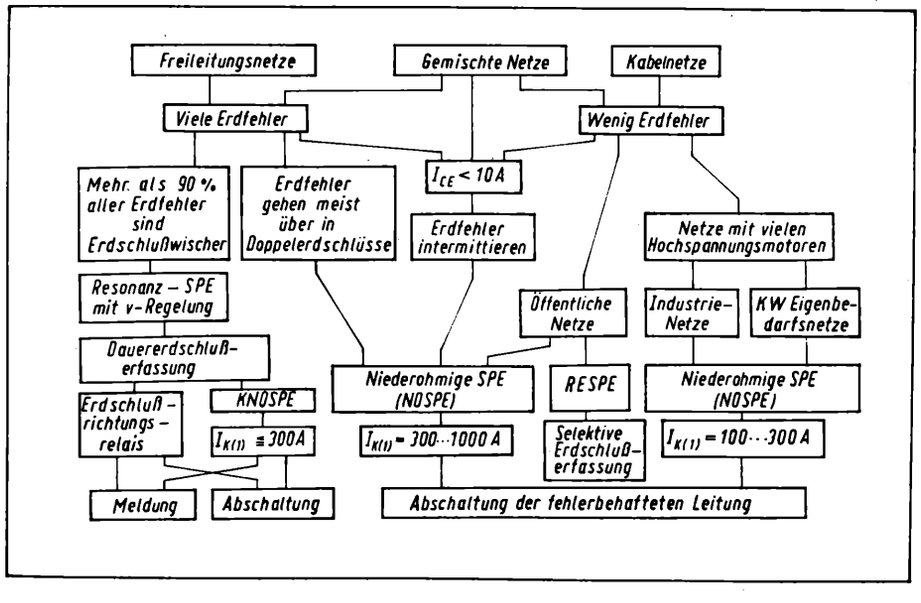


Bild 1. Strategie der Sternpunktbehandlung von Mittelspannungsnetzen in der DDR

Einflußgrößen für die Wahl der Sternpunktbehandlung (Themengruppe 1)

Diskussionsleitung: *Hosemann, G.* (Universität Erlangen)

1.1. *Gröber, R.:* Auswirkungen des Fehlergeschehens bei unterschiedlicher Sternpunktbehandlung
1.2. *Brunner, W.:* Auslegung der Erdungsanlagen im Hinblick auf die Erdungs- und Berührungsspannungen
1.3. *Erche, M.:* Netzbeanspruchungen und ihr Einfluß auf Netzkomponenten.

Gröber (FGH Mannheim) wertete die VDEW Störungs- und Schadensstatistik bezüglich der SPE aus. So werden von etwa 1500 10-kV-Netzen (93500 km Stromkreislänge) noch etwa 600 mit freiem SP betrieben, 640 mit RESPE, 86 mit NOSPE und 170 mit kurzzeitiger nierderohmiger SPE (KNOSPE). In der 20-kV-Spannungsebene sind es von 1054 Netzen (138550 km Stromkreislänge) nur 5 mit freiem SP, 1040 mit RESPE und 10 mit NOSPE. Von den 124 Netzen der 110-kV-Spannungsebene (99 Freileitungsnetze, 13 gemischte Netze und 12 Kabelnetze mit insgesamt 46210 km Stromkreislänge) werden 95 mit RESPE, 27 mit NOSPE und 2 mit KNOSPE betrieben. Auf Grund dieser großen Anzahl von Netzen und Systemlängen ist diese Statistik sehr aussagefähig. So weist sie aus, daß für alle gemischten Netze, abgesehen von den Erdschlußwischern, der Kurzschluß die weitaus häufigste Fehlerart ist. Dauer- und Doppelerdschlüsse sind eine Größenordnung seltener. Bei KNOSPE ist die Anzahl der Doppelerdschlüsse nur halb so groß, was auf die schnelle Abschaltung der Dauererdschlüsse zurückzuführen ist. In Kabelnetzen ist die Anzahl der Kurzschlüsse deutlich niedriger. In 10-kV-Kabelnetzen mit NOSPE halten sich Erdkurzschlüsse und Kurzschlüsse die Waage.

Die Entwicklung von Erdfehlern zu Doppelerdschlüssen und Kurzschlüssen zeigt, daß in Netzen mit freiem SP deutlich mehr Erdschlüsse in Kurzschlüsse übergehen. Bei KNOSPE ist die Anzahl der Doppelerdschlüsse nur halb so groß wie bei RESPE.

In Netzen mit freiem SP sind deutlich weniger Dauererdschlüsse ohne Unterbrechung der Energielieferung zu verzeichnen.

Brunner (Badenwerk AG) behandelte die Auslegung der Erdungsanlagen im Hinblick auf die Erdungs- und Berührungsspannungen und berücksichtigte dabei die noch 1988 erscheinende Neufassung der VDE 0141.

Erche (Siemens Erlangen) untersuchte die Netzbeanspruchungen bei den verschiedenen Arten der SPE an Hand interessanter Diagramme in Polarkoordinaten für verschiedene Beträge und Winkel des Verhältnisses $\underline{Z}_0/\underline{Z}_1$. Zu beachten ist auch, daß bei Erdkurzschluß in Netzen mit starrer SPE bei Wechselrichtern die Leiter-Mittelpunkt-Spannungen kleiner und nach hinten bzw. nach vorn verschoben werden und dadurch bei Wechselrichterbetrieb z.B. einer HGÜ u.U. die Zeit für die Kommutierung nicht mehr ausreicht und es zum Wechselrichterkippen kommt. Es muß deshalb so schnell wie möglich der Zündwinkel nach vorn verlegt werden, um weitere Kippungen zu vermeiden, was durch vorausberechnete unsymmetrische Zündwinkel möglich ist.

Erche verwies auch auf die Gefahr der Überlastung von ZnO-Ableitern durch lange andauernde und außergewöhnlich hohe betriebsfrequente Spannungsüberhöhungen, die sowohl bei Dauererdschluß als auch in Verbindung mit Lastabwurf zu verzeichnen sind. Auch die hohen Überspannungen bei intermittierendem Erdschluß in kleinen Netzen mit freiem SP beanspruchen die Überspannungsbegrenzer stark. Das weiterhin behandelte Problem des Spannungsübertrittes von starr geerdeten 380/220-kV-Systemen auf 110-kV-Systeme in Netzen mit RESPE bei Verlegung auf gleichem Gestänge (Vierfachleitungen) ist für die DDR z.Z. gegenstandslos.

Sternpunktbehandlung in Mittelspannungsnetzen (Themengruppe 2)

Diskussionsleitung: *Handschin, E.* (Universität Dortmund)

2.1. *Fiernkranz, K.:* Mittelspannungsnetze mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation
2.2. *Dittrich, H.-J.; Hauser, H.; Koetzold, D.:* Erkennen und Orten von Erdschlüssen
2.3. *Poll, J.:* Betriebserfahrungen mit der Ortung von Erdschlüssen durch Kurzzeiterdung
2.4. *Kaufmann, W.:* Mittelspannungsnetze mit niederohmiger Sternpunkterdung
2.5. *Schümann, O.:* Sternpunktbehandlung in Netzen der chemischen Industrie
2.6. *Howe, G.; Münster, W.:* Sternpunktbehandlung in Netzen des Bergbaus.

Fiernkranz (Überlandwerk Nordhannover) beschreibt die Auswahlkriterien und Grenzen des Betriebes in MS-Netzen mit freiem SP und RESPE und geht ausführlicher auf den Betrieb der Netze mit RESPE ein.

Im Beitrag von *Dittrich, Hauser, Koetzold* [AEG Frankfurt (Main)] werden alle bekannten Methoden zum Erkennen und Orten von Erdschlüssen erläutert und eingeschätzt und auch auf neue Möglichkeiten und Verfahren hingewiesen, die durch die Mikroprozessortechnik möglich werden.

Poll (RWE) berichtet über die Betriebserfahrungen mit der Ortung von Erdschlüssen durch Kurzzeiterdung (KNOSPE) in 98 11-kV-Netzen mit etwa 3600 km Kabel und 750 km Freileitungen, die ab 1967 nach und nach von RESPE auf KNOSPE umgestellt worden sind. Hauptgrund war die Gefahr der Ausweitung auf Doppelerdschluß bei Schaltmaßnahmen in Verbindung mit der Ermittlung des fehlerbehafteten Leitungsabschnitts. Um auch bei erschwerten Löschbedingungen auf der sicheren Seite zu liegen, wird die KNOSPE erst 5 s nach Auftreten des Dauererdschlusses aktiviert. Die SP-Resistanz von nur 3,3 Ω garantiert, daß der Erdkurzschlußstrom zu einer Schutzanregung des 3poligen Schutzes führt und alle Kurzschlußstromanzeiger der betroffenen Leitung bis zur Fehlerstelle hin ansprechen, was einen Erdkurzschlußstrombereich von 2000 A bis 450 A erfordert. Die Einschaltdauer der SP-Resistanz beträgt nur 100 ms. Die AWE wird für diese Dauer blockiert. Durch die Fernmeldung aller angesprochenen Schutzrelais zur Netzsteuerstelle wird die fehlerbehaftete Leitung sofort erkannt, jedoch im Dauererdschluß weiter betrieben, d.h. die KNOSPE arbeitet auf Meldung. Durch Netzmonteure wir die fehlerbehaftete Leitung aufgesucht, die durch die angesprochenen Kurzschlußstromanzeiger an die Fehlerstelle herangeführt werden. Der fehlerbehaftete Leitungsabschnitt wird dann nach Herstellung einer Ringversorgung ohne Unterbrechung der Energielieferung freigeschaltet.

Kaufmann (TWS, Stuttgart) berichtet über die Umstellung der 10-kV-Kabelnetze der TWS in Verbindung mit der Errichtung von 110/10-kV-Kompaktumspannwerken von RESPE auf NOSPE, die 1978 begann. Die Auswirkungen auf das Störungsgeschehen sind positiv; insbesondere treten bei NOSPE signifikant weniger Kabelfehler auf als in den noch mit RESPE betriebenen Netzen. Die Sternpunktbehandlung in Netzen der chemischen Industrie behandelt *Schämann* (Hüls-AG) am Beispiel der 19 Teilnetze mit 6 kV, die aus 3 30-kV-Netzen bzw. dem überlagerten 110-kV-Netz gespeist werden. Während das 110-kV-Netz und die 30-kV-Netze mit RESPE betrieben werden, sind es bei 6 kV nur Netze mit $I_{CE} > 10$ A. Kleine 6-kV-Teilnetze sind mit freiem SP in Betrieb. Im 110-kV- und 30-kV-Netz sind Erdschlußwischerrelais eingesetzt, während in den 6-kV-Netzen mit Suchschaltungen die fehlerbehaftete Leitung geortet wird. Die Betriebserfahrungen sind positiv. *Howe* und *Münster* (STEAG AG, Essen) berichten über die Bergbaunetze der Ruhrkohle AG mit einer Anschlußleistung von 2500 MVA mit insgesamt 36 Einspeise-UW aus den EVU und 80 Übergabestellen im Mittelspannungsbereich zu den Schachtanlagen bzw. Tagebauen allgemein und dem STEAG-Anteil speziell. Die Kriterien für die Versorgungszuverlässigkeit basieren auf entsprechenden Bergverordnungen und fordern den redundanten Aufbau der Netze. Auch hier werden kleine 5-kV- und 6-kV-Netze ($I_{CE} < 10$ A) mit isoliertem SP betrieben, größere 10-kV- bis 30-kV-Netze mit RESPE, wobei mit Tauchkernspulen der Erdschlußreststrom auf dem kleinstmöglichen Wert gehalten wird. Zur selektiven Erdschlußerfassung sind sowohl Wischerrelais als auch cos φ-Relais im Einsatz. Der Gefahr von Kippschwingungen in Netzen mit freiem SP wird durch Belastung der offenen Dreieckwicklung, wie allgemein üblich, begegnet.

Sternpunktbehandlung in 110-kV-Netzen (Themengruppe 3)

Diskussionsleitung: *Funk, G.* (Universität Hannover)

3.1. *Haubrich, H.-J.:* 110-kV-Netze mit Erdschlußkompensation
3.2. *Gampenrieder, R.; Hoffmann, E.:* 110-kV-Netze mit niederohmiger Sternpunkterdung
3.3. *Balzer, G.:* Beidseitige Sternpunktbehandlung an Transformatoren.

Haubrich (VEW Dortmund) geht von einer Analyse der Störungen in den 110-kV-Netzen in den Jahren 1970 bis 1985 getrennt nach Netzen mit RESPE (81 Netze) und NOSPE (18 Netze) aus. Es überwiegt in den Freileitungsnetzen mit nur durchschnittlich 3% Kabelanteil die RESPE, wobei die in den 50er Jahren noch häufigen Doppelerdschlüsse durch Teilnetzbildung, Verbesserung der Isolation und gleichzeitig rückläufiger Luftverschmutzung in den

Industriegebieten selten geworden sind. Für Doppelleitungen in stark gewitterexponierten Trassen, wo häufig gleichzeitig beide Stromkreise durch rückwärtige Überschläge ausfallen, hat sich zusätzlich die dreipolige AWE als notwendig erwiesen und bewährt. Ein Anteil von 82,4% selbsterlöschende Erdschlüsse (Erdschlußwischer) und nur je 2,5% Dauer- und Mehrfacherdschlüsse in den Netzen mit RESPE ist eine sehr positive Bilanz. Hinzukommen noch 11,3% Kurzschlüsse und 1,3% ungeklärte Fehler. In den Netzen mit NOSPE sind 90,5% aller Fehler Erdkurzschlüsse.

Haubrich geht dann noch auf Fragen der Abstimmung der RESPE und der Oberschwingungsrestströme ein und beurteilt die Löschfähigkeit auch im Hinblick auf die kapazitive Beeinflussung bei 380/110-kV-Vierfachleitungen.

Gampenrieder (Bayernwerk) legte die Gründe für eine Umstellung des 110-kV-Freileitungsnetzes von RESPE auf starre SPE (langsamerer Ausbau des 220-kV-Netzes in Verbindung mit der Verringerung der Anzahl von Doppelerdschlüssen) dar. Es wurde mit 3500 km Systemlänge und einem Kabelanteil unter 5% bis 1961 an der zulässigen Grenze für RESPE betrieben. In einer Umstellungsphase wurden 3 Teilnetze gebildet, die im Zeitraum von 1962 bis 1965 auf teilstarre SPE umgestellt wurden, wobei zunächst etwa 20% aller 110-kV-Sternpunkte der Trafos 110 kV/MS starr geerdet wurden, während die 110-kV-Sternpunkte der 220/110-kV-Netztrafos von vornherein nicht einbezogen wurden. So wurde auch bewußt auf den Einsatz von 220/110-kV-Spartrafos verzichtet, um die Erdkurzschlußströme zu begrenzen. Heute sind nur noch etwa 10% aller Trafosternpunkte starr geerdet und die Erdkurzschlußströme liegen im Mittel bei nur 6 kA bei einem Höchstwert von 13,5 kA. Die dreipoligen Kurzschlußströme dagegen im Mittel bei 11 kA und maximal bei 27,5 kA. Im Netz sind z.Z. 380 110-kV-Anlagen mit 691 Leitungsverbindungen in Betrieb. Nahezu 95% aller Erdkurzschlüsse wurden durch die AWE geklärt, davon 98% in Schnellzeit (< 150 ms) und anstelle der 12% Dauer- und Doppelerdschlüsse bei RESPE sank der vergleichbare Anteil erfolgloser AWE auf etwa 8%. Es wurde festgestellt, daß die Bayernwerke nach wie vor hinter der damaligen Entscheidung stehen. Eine Umfrage bei 22 Stadtwerken mit umfangreichen 110-kV-Kabelnetzen ergab, daß 6 Netze von vornherein für NOSPE ausgelegt, 10 Netze von RESPE auf NOSPE umgestellt wurden und 2 weitere hierfür vorbereitet werden, während nur 4 Stadtnetze noch mit RESPE betrieben werden.

Hoffmann (Badenwerke) ergänzt diesen Beitrag durch eine Modelluntersuchung zur Umstellung eines 110-kV-Teilnetzes der Badenwerke (Last 150 MW, 6 UW mit 10 Trafos 110/20 kV, 9 Freileitungsverbindungen mit 100 km Systemlänge, 1 Kabel mit 6 km). Bei teilstarrer SPE ergeben sich Erdkurzschlußströme zwischen 2,9 und 5 kA. Es zeigte sich, daß für die Umstellung 715 TDM erforderlich sind, die hauptsächlich durch erforderliche Maßnahmen beim Netzschutz bedingt sind.

Balzer (BBC Mannheim) behandelt schließlich noch die beidseitige Sternpunktbehandlung an Transformatoren, also die Probleme der Sternpunktkopplung, und gibt im einzelnen an, welche Sternpunktbeschaltungen zulässig sind.

In der Diskussionszeit von insgesamt 4 Stunden kamen 30 Fachkollegen zu Wort und es wurden weitere detaillierte und wertvolle Hinweise zu den Betriebserfahrungen in vielen Netzen gegeben. Eine Veröffentlichung aller Diskussionsbeiträge ist vorgesehen. Für die DDR sind im Standard TGL 190-216 die wesentlichsten Festlegungen für alle Arten der SPE in Netzen bis 110 kV enthalten. Hier dominieren ebenfalls eindeutig die Netze mit RESPE, wobei es in Mittelspannungsnetzen z.Z. etwa 40 Netze mit NOSPE und etwa 70 mit KNOSPE gibt. Hinzukommen die 10-kV-Eigenbedarfsnetze für die 500-MW-Blöcke, die ebenfalls mit NOSPE erfolgreich betrieben werden. Die Strategie der Sternpunktbehandlung in der DDR ist im Bild 1 als Blockschema wiedergegeben.

Die Beiträge und Diskussionen stellten den aktuellen Stand der SPE in Europa dar und bestätigten auch die Strategie in der DDR, wobei wir allerdings in reinen Kabelnetzen keine KNOSPE, sondern nur die NOSPE vorsehen und für sehr kleine Netze mit kapazitiven Erdschlußströmen unter 10 A wegen der Gefahr intermittierender Erdschlüsse der isolierte SP abgelehnt wird.

Der Themenkreis 1 zeigte deutlich, daß das Fehlergeschehen durch die SPE beeinflußt wird und Strom- und Spannungsbeanspruchungen gleichermaßen zu beachten sind. Im Themenkreis 2 wurde die Weiterversorgung der Abnehmer als Schwerpunkt herausgestellt. Im Zusammenhang mit einer einfachen Fehlerortung kann die KNOSPE teilweise vorteilhaft sein, aber auch Netze mit RESPE und freiem SP haben sich bewährt. In Industrienetzen hat die Weiterversorgung der Verbraucher Priorität. Die NOSPE kann in EV-Netzen interessant sein, aber man muß die Randbedingungen bei einer Umstellung in Verbindung mit der Netzkonzeption und den UW-Ausrüstungen beachten. Die NOSPE in 110-kV-Stadtnetzen hat sich bewährt und die 380/110-kV-Kopplung muß beachtet werden.

Man muß abschließend einschätzen, daß es für MS-Netze im Gegensatz zu den 110-kV-Netzen keine einheitliche Meinung gibt und wohl auch nicht geben wird, weil sowohl die historische Entwicklung, das sehr unterschiedliche Störungsgeschehen je nach Bewährung der eingesetzten elektrotechnischen Betriebsmittel in Verbindung mit Umwelteinflüssen sowie Forderungen an die Personensicherheit und Versorgungszuverlässigkeit und die Betriebserfahrungen einen großen Einfluß haben. So gilt auch bezüglich der Frage nach einer eventuellen Umstellung auf eine andere Art der SPE der weise Spruch: „Ist es erforderlich, einen Sachverhalt zu ändern, von dessen Angemessenheit man überzeugt ist?"

H. Pundt, Dresden EA 2843

Steuerungskonzepte für den Materialfluß in flexiblen Fertigungssystemen

136. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 21. April 1988

War es mit der bisherigen Steuerungstechnik nicht möglich, Organisationsstrukturen und Planungsprozesse im On-line-Betrieb in die Steuerung einzubeziehen, so stehen durch die anhaltend progressive Entwicklung der Mikroelektronik künftig Steuerungen zur Verfügung, mit deren Arbeitsspeicherbereichen von 1 MByte und mehr die rechentechnische Bearbeitung derart komplexer Steuerungsaufgaben erfolgen kann. Aus dieser Sicht und mit dem Hinweis auf die zunehmende Bedeutung der Automatisierung der Hilfsprozesse Transport — Umschlag — Lagerung (TUL) schilderte der Referent Dr.-Ing. *P. Löber* seine Erfahrungen auf diesem Gebiet.

Als Automatisierungsmittel stehen für Transportprozesse grundsätzlich drei Systeme zur Verfügung:

— Überflurtransportsysteme/Hängebahnen
— leitliniengeführte Transportroboter
— schienengebundene Transportroboter.

Auf dem Wege der Lösung technologischer Verkettungsaufgaben bei der Prozeßautomatisierung galt es zunächst, den Nachweis der Verkettungsmöglichkeit von bidirektionalen Bewegungen zu erbringen. Dabei besteht die Notwendigkeit, entsprechend der computergesteuerten Fertigungsdisposition Gegenstände (Paletten/Werkstücke/Werkzeuge) aus der Matrix eines Speichers (z.B. Hochregellager) die Übergabe an ein Transportsystem, den Durchlauf im Transportsystem, die Weiterleitung an eine Übergabeeinrichtung und die Beschickung der Bearbeitungsstation zu realisieren. Bei jeder Übergabe steht die Aufgabe, mehrere Steuerungen zu synchronisieren, um Kollisionen zu vermeiden. Somit müssen Möglichkeiten gefunden werden, um während der Lösung systeminterner Aufgaben zu bestimmten Zeitpunkten mit anderen Systemen zu kommunizieren. Für den ordnungsgemäßen Ablauf des Prozesses werden ständig sowohl zeitlich als auch technologisch aktuelle Informationen benötigt.

Der Referent unterschied bei einem Transportauftrags-Abarbeitungssystem sieben verschiedene Aufgabenklassen:

1. Auftragserteilung und -übernahme,
2. Syntax- und Wertebereichsprüfung (Einordnung/Ergänzung/Löschung),
3. Planungsprozeß (Fahrtroute und Fahrplan) — struktur- und zustandsabhängig,
4. Koordinierungsprozeß (on line/lokal),
5. Aktionssteuerung (operative Abarbeitung),
6. prozeßsynchrone Abbildführung,
7. Protokollierung/Quittierung.

Bei den weiteren Ausführungen ging Dr. *Löber* im Zuge der Bildung des technologischen Modells eines Automatisierungssystems auf Möglichkeiten der Prozeßabbildung ein.

Als geeignete Verfahren wurden die

— Graphenmethode bzw.
— Netzdarstellung

angegeben.

PATENTE

Schaltungsanordnung zur Vermeidung von Bränden bei Störlichtbögen in elektrischen Schaltanlagen

DD-WP: 248 004
Int.-Cl.: H 02 H 7/26
Anmeldetag: 08. 04. 86
Anmelder: VE Braunkohlenkombinat Senftenberg

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für elektrische Schaltanlagen, die anlagenbedingte Lichtbögen von Störlichtbögen und Bränden unterscheidet.

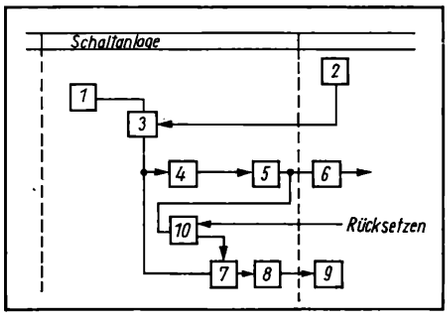


Bild 1. Schaltungsanordnung zur Unterscheidung von Licht- und Störlichtbögen

Aufgabe ist es, eine Schaltungsanordnung zu entwickeln, wodurch die elektrische Schaltanlage ständig auf entstehende Störlichtbögen überwacht und bei deren Auftreten kurzfristig abgeschaltet werden. Die Schaltung soll weiterhin mögliche Brände ermitteln und melden sowie eine automatische Brandbekämpfung gewährleisten.

Erfindungsgemäß ist ein Detektor (*1*) mit dynamischem Ausgang (Bild 1) innerhalb und ein zweiter (*2*) außerhalb der elektrischen Schaltanlage angeordnet. Beiden Detektoren ist eine Logikschaltung (*3*), dieser ein Zeitbaustein (*4*), diesem eine Verstärkerschaltung (*5*) und dieser eine Auslöseeinrichtung des Leistungsschalters (*6*) nachgeordnet. Einem zweiten Ausgang der Logikschaltung ist eine zweite Logikschaltung (*7*), dieser eine zweite Verstärkerschaltung (*8*) und dieser eine Löscheinrichtung (*9*) nachgeordnet. Ein zweiter Ausgang der ersten Verstärkerschaltung ist über einen zweiten Zeitbaustein (*10*) mit der zweiten Logikschaltung elektrisch leitend verbunden.

D. Ufert, Berlin EA 2704

Folientastatur

DD-AP: 248 676
Int.-Cl.: H 01 H 13/70
Anmeldetag: 21. 07. 86
Anmelder: Schenk und Co., Cham, CH

Die Erfindung betrifft eine Tastatur mit Folienaufbau. Bei den bekannten Folientastaturen sind zwei im Abstand angeordnete, jeweils mit leitenden Tastenbereichen versehene Folien vorgesehen. Die einander gegenüberliegenden Tastenbereiche bzw. Tastenkontakte sind durch einen Luft enthaltenden Zwischenraum voneinander isoliert. Bei Druck auf den Tastenbereich einer Folie wird diese und die darauf befindliche leitende Schicht verformt, bis der Kontakt mit der Leitschicht auf der unteren Folie hergestellt ist. Da der Tastenkontakt somit bei jeder Betätigung bewegt und verformt wird, kann es nach einer gewissen Gebrauchsdauer zu Ermüdungserscheinungen und Fehlkontakten kommen. Die im Zwischenraum enthaltene Luft kann zur Kontaktoxidation beitragen und kann sich bei hoher Umgebungstemperatur oder geringem Außendruck soweit ausdehnen, daß die Funktion der Tastatur beeinträchtigt oder die Tastatur beschädigt wird.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung werden diese Nachteile beseitigt. Bei der Erfindung sind zwischen den Leiterbahnen tragenden Folien piezoelektrische Kristallelemente vorgesehen.

Bei Druck auf das Element gibt es eine Spannung ab. Dadurch kann eine Tastatur geschaffen werden, die im Ruhestand spannungslos ist und keine unerwünschten Luftkammern enthält.

D. Ufert, Berlin EA 2680

Elektronische Einrichtung zum automatischen Parallelschalten eines Generators mit einem Netz oder mit einem anderen Generator

DD-WP: 244 682
Int.-Cl.: H 02 J 3/42
Anmeldetag: 23. 12. 1983
Anmelder: Bergakademie Freiberg
Erfinder: U. Beckert; W. Neuber

Die Erfindung bezieht sich auf eine elektronische Einrichtung zum phasenrichtigen automatischen Parallelschalten eines Generators mit einem Netz oder von zwei Generatoren für den Fall, daß zwischen beiden Spannungssystemen eine Frequenzdifferenz besteht und der Schaltbefehl mit einem der Eigenzeit des Parallelschalters entsprechenden Vorhalt gegeben werden muß. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe im wesentlichen dadurch gelöst, daß unter Benutzung von zwei Phasenregelkreisen eine netzfrequente Rechteckimpulsfolge mit schlupfproportionalem Tastverhältnis und schlupfproportionaler Phasenverschiebung gegenüber der Netzwechselspannung erzeugt wird.

In einem an die beiden Phasenregelkreise angeschlossenen D-Flipflop wird deren Koinzidenz mit einer Impulsfolge festgestellt, die phasenstarr der Generatorwechselspannung folgt. Bei Koinzidenz, die zu einem um die Vorhaltzeit früheren Zeitpunkt als die Phasengleichheit von Generator- und Netzwechselspannung eintritt, wird der Schaltbefehl gegeben. Die von der Frequenzdifferenz zwischen beiden Spannungssystemen unabhängige Vorhaltzeit kann digital eingestellt werden und wird sinnvollerweise gleich der Eigenzeit des Parallelschalters gewählt.

U. Beckert, Freiberg EA 2631

Vorrichtung zur Markierung von bewegtem, strangförmigen Gut, insbesondere von Kabeln

DD-WP: 249 565
Int.-Cl.: H 01 B 3/36
Anmeldetag: 29. 05. 86
Anmelder: VEB Kabelwerk Köpenick

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Markierung von bewegtem, strangförmigem Gut, insbesondere von Kabeln, die mit einem aus Düsen bestehenden schwenkbaren Druckkopf ausgerüstet ist, der mit einem Rechner gesteuert wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Markierung von strangförmigem Gut zu schaffen, bei der mit einem bestimmten Druckkopf mehrere Schriftenhöhen realisiert werden, hohe Abzugsgeschwindigkeiten des zu kennzeichnenden Gutes möglich sind und eine sichere und einfache Schrägstellung des Druckkopfes vorgenommen werden kann. Das wird dadurch erreicht, daß der Druckkopf nur solche einrastbaren Schrägstellungen einnehmen kann, bei denen ein Abstand zwischen einem Matrixpunkt einer gewünschten Grundmatrix und einem Matrixpunkt der benachbarten Matrixzeile der gewünschten Grundmatrix dem Abstand zwischen zwei nebeneinanderliegenden Düsen des Druckkopfes entspricht. Das Ziel der Erfindung besteht darin, die Arbeitsproduktivität zu erhöhen.

D. Ufert, Berlin EA 2681

Als weitere Aufgabe steht die Überführung des technologischen Modells in einen gerichteten Wegstreckengraphen. Hierfür wiederum wird ein mathematisches Modell als Grundlage zur Planung benötigt. Für die problemorientierte Computerarbeit ist folglich eine Fach-/Hochsprache erforderlich.

Einen weiteren Schwerpunkt der Darlegungen bildeten die Hierarchie und das Kommandosystem der Transportauftragserteilung. Hierbei ging der Referent näher auf Fragen des Transportauftragsgraphen, des Parallellaufs mit Gegenläufigkeiten, der Auftragskoordinierung und der rechentechnischen Informationsverarbeitung ein.

In einer graphischen Übersicht wurde ein hierarchisches Prozeßrechnersystem mit dezentralisiertem Prozeßeingabe-/-ausgabesystem und Schleifleitungs-Prozeßdatenbus für mobile Fördersteuerungen mit ortsfesten und ortsveränderlichen Kopplungsstellen vorgestellt. Eine weitere Darstellung zeigte das Prinzip der Vernetzung von Steuerungen in einem flexiblen Fertigungssystem.

Zur Lösung der Überwachungs- und Sicherungsaufgaben innerhalb globaler Kollisionsräume stellte der Referent abschließend folgende Möglichkeiten vor:

1. Verdrahtung der Prozeßsignale,
2. direktes Messen und Stellen von Prozeßsignalen,
3. Verknüpfung und Verarbeitung von Verriegelungssignalen über PEAS-Kanäle,
4. Bildung und Auswertung globaler prozeßnaher Zustandsvariabler (Variable der Aktionsebene),
5. Verwendung globaler logischer Datenobjekte,
6. kombinierter Einsatz der vorgenannten fünf Methoden.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2846

Mischkern für Stromwandler

DD-WP: 247 989
Int.-Cl.: H 01 F 40/06
Anmeldetag: 11. 04. 86
Anmelder: VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern"

Die Erfindung betrifft einen rahmenförmigen, geschichteten Mischkern für Stromwandler, der neben Siliziumblechen einen Anteil Nickeleisenbleche enthält. Die zur Zeit üblichen Ausführungen der Mischkerne sind aufgrund des sehr teuren Nickeleisens immer noch sehr kostenaufwendig. Ziel der Erfindung ist, die Kosten für Stromwandler zu verringern.
Bei der Erfindung wird unter Beibehaltung der Klassengenauigkeit und Überstromziffer teures Magnetkernmaterial eingespart. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß lediglich ein oder zwei Schenkel des Kernes aus Nickeleisenblechen bestehen bzw. mit einer Schicht aus Nickeleisenblechen versehen sind, wobei der gesamte Nickeleisenanteil des Mischkernes wesentlich geringer als der Nickeleisenanteil eines Mischkernes mit in allen Schenkeln verteilten Nickeleisenblechschichten ist.

D. Ufert, Berlin EA 2698

Armatur zur Herstellung von steckbaren Klemmverbindungen und -anschlüssen an Kabeln

DD-WP: 247 545
Int.-Cl.: H 01 R 4/18
Anmeldetag: 31. 03. 86
Anmelder: VEB Energiekombinat Leipzig

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Armatur zur Herstellung leicht lösbarer Klemmverbindungen oder -anschlüsse speziell für Al-Leiter zu schaffen, wobei durch die Gestaltung des Klemmteils sowohl ein Klemmen des Leiters als auch ein An- bzw. Aufpressen der Leiterenden an die Stirnwand der Armatur erfolgt. Die Kräfteübertragung von einer Überwurfmutter auf die Klemmbacken der Armatur erfolgt über eine entsprechend dimensionierte Druckfeder, wodurch ein gewisser Schwundausgleich des angeschlossenen Leitermaterials gewährleistet wird.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß eine geschlitzte, im Außendurchmesser kegelförmig gestaltete Hülse auf den anzuschließenden oder zu verbindenden Leiter, in ein entsprechendes Gegenstück einer Armatur, durch Schraubendruck gepreßt wird. Durch ein entsprechendes Kegelverhältnis Hülse-Armatur wird eine sichere Klemmverbindung des Leiters gewährleistet, wobei gleichzeitig ein An- bzw. Aufpressen der Leiterenden an der entsprechend gestalteten Stirnwand der Armatur erfolgt. Dieser Vorgang wird durch eine entsprechende Aufrauhung der Innenfläche der Klemmhülse unterstützt. Die Armatur dient zur Herstellung von elektrisch leitenden Verbindungen und Anschlüssen durch ein mechanisches Klemmen. Sie findet Anwendung insbesondere bei der Kabellegung. Der anwendbare Leiterquerschnitt ist dabei nicht begrenzt. Die Verbindung bzw. der Anschluß sind lösbar.

D. Ufert, Berlin EA 2702

Hermetischer und hochfrequenzdichter Kabelendverschluß für symmetrische Fernmeldekabel

DD-WP: 249 359
Int.-Cl.: H 02 G 15/02
Anmeldetag: 23. 05. 86
Anmelder: VEB Kabelwerk Nord

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen hermetischen und hochfrequenten Kabelendverschluß für symmetrische Fernmeldekabel zu schaffen, der bei Verkleinerung seiner Abmessungen und Verringerung seiner Bauteile gute Montageeigenschaften hat und dabei ohne zusätzliche Maßnahmen eine Beeinflussung der im Kabelendverschluß befindlichen symmetrischen Doppeladern hinsichtlich äußerer hochfrequenter Störungen mit Sicherheit ausschließt.
Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Anschlußleitungen, die jeweils aus einer von einem Mehrfachschirm umgebenen Doppelader bestehen, von der Geräteseite kommend, erfindungsgemäß durch je eine Kegelbohrung eines metallischen Anschlußflansches, der mit Schraubenverbindung und Gerätedichtung hermetisch mit dem Gerätebehälter verbunden ist, in den Kabelendverschluß geführt werden. Der Mehrfachschirm endet im Bereich des Anschlußflansches so, daß alle Einzelschirme leitend verbunden und nach hinten umgestülpt sind. Die Kegelbohrungen sind knapp bemessen und verengen sich so, daß der umgestülpte Mehrfachschirm eng an der Bohrungswandung anliegt. Seine Vorderkante ist zu einem Schirmkragen umgeformt, der an der Innenseite des Anschlußflansches anliegt. Im Anschlußflansch liegen alle Durchführungslöcher für die Doppeladern auf einem Teilkreis. Mit einer zentralen Kontaktschraube wird eine kreisförmige Kontaktplatte an den Anschlußflansch gepreßt. Die Kontaktplatte liegt mit ihrer Kontaktfläche, die sich an ihrem Rand befindet, auf dem zur Mittelachse des Anschlußflansches zeigenden Teil aller Schirmkragen auf.
Durch die erfindungsgemäße Lösung kann eine Montage am Kabel ohne Löten am Aluminiummantel erfolgen und ist damit unabhängig von speziellen Fachkräften und Ausrüstungen durchführbar. Des weiteren kann die Kapazität vorhandener Trägerfrequenz-Kabeltrassen auf das 4- bis 8fache erweitert werden.

D. Ufert, Berlin EA 2682

Bitte erneuern Sie rechtzeitig Ihr Abbonnement für die Fachzeitschrift

ELEKTRIE

damit Sie sich für 1989 wieder den Bezug aller Ausgaben sichern.

BÜCHER

Analoge Schaltungen

Von *M. Seifart*
Berlin: VEB Verlag Technik, 1987
579 Seiten, 432 Bilder, 62 Tafeln, Leinen, 42,— M, Best.-Nr. 553 622 0

Die analoge Schaltungstechnik ist nach wie vor ein notwendiges Bindeglied zwischen den stetigen Prozessen der Natur und der zunehmend digitalisierten Informationsverarbeitung. Sie wird in starkem Maße durch die Eigenschaften der aktiven Bauelemente sowohl in diskreter als auch in integrierter Form bestimmt und unterliegt damit einem ständigen Entwicklungsprozeß.
In dem vorliegenden Buch wird ein Überblick über den gegenwärtigen Stand der analogen Schaltungstechnik gegeben. Dabei werden Schwierigkeiten, die aus der notwendigerweise frontalen Behandlung des Gesamtgebietes resultieren, durch eine unkomplizierte Stoffdarstellung sowie eine zweckmäßige und übersichtliche Gliederung geschickt überwunden. Die physikalisch anschauliche Darstellungsweise wird bevorzugt. Sie ermöglicht einen schnellen Überblick über die Wirkungsweise und das Verhalten der Schaltungen und fördert das Verständnis ihrer Wirkungsprinzipien. Lobenswert ist das Bestreben des Autors, Sachverhalte nicht nur an Prinzipschaltungen, sondern auch an funktionsfähigen Schaltungen zu erläutern. Der bereits in der Berufspraxis stehende Ingenieur wird dabei gute Anregungen für seine Arbeit finden. Vom Studenten, der sich erstmalig mit dieser Thematik beschäftigt, erfordert diese Darstellung ein hohes Maß an eigener Mitarbeit. Sie fördert andererseits von vornherein das Gefühl für praktisch typische Zahlenwerte.
Inhaltlich werden nach einer Einführung für die bipolaren und unipolaren aktiven Bauelemente Netzwerkmodelle als analytische Hilfsmittel hergeleitet. Auf dieser Basis werden dann die Verstärkergrundschaltungen, Probleme der Arbeitspunkteinstellung und -stabilisierung, Differenzverstärker und Leistungsverstärker behandelt. Im weiteren werden mehrstufige Verstärker dargestellt. Nachdem die Gegenkopplung in den ersten Abschnitten häufig aus pragmatischer Sicht zur Anwendung kam, wird sie jetzt als ein wesentliches schaltungstechnisches Prinzip mit strengen regelungstechnischen Methoden hergeleitet. Dabei wird auf Fragen des Frequenzganges ebenso eingegangen wie auf Probleme der dynamischen Stabilität. Nach der Darstellung von Eigenschaften, Kenngrößen und Schaltungsstruktur von Operationsverstärkern folgen Abschnitte, die sich mit Verstärkeranwendungen und weiteren Problemen der analogen Signalverarbeitung beschäftigen. Im Mittelpunkt steht die lineare sowie die nichtlineare Gegenkopplungsbeschaltung von Operationsverstärkern. Aber auch andere, weit verbreitete Schaltungen, wie Multiplizierer, Komparatoren, Referenzspannungsquellen, Breitbandverstärker, Selektivverstärker, Filter und Schaltungen mit Optokopplern werden dargestellt. Als Bindeglied zur digitalen Schaltungstechnik

wurde ein Abschnitt über AD- und DA-Umsetzer aufgenommen.
Das vorliegende Buch setzt Grundkenntnisse der Elektrotechnik, der höheren Mathematik einschließlich der Laplace-Transformation, der Systemtheorie, der Regelungstechnik und der Physik elektronischer Bauelemente voraus.
Als gleichermaßen modernes Hochschullehrbuch und Nachschlagewerk kann es Studenten ebenso wie allen bereits in der Praxis Tätigen bestens empfohlen werden.

G. P. Müller, Dresden ·ELB 36

Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Von *G. Hosemann* und *W. Boeck*
Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1987
3. Auflage, 262 Seiten, 151 Bilder, 2 Beilagen

Daß der 1. Auflage von 1979 und der 2. von 1983 bereits 1987 eine völlig neubearbeitete und erweiterte 3. Auflage folgt, zeugt für die breite Anwendung dieses grundlegenden Hochschullehrbuches auch bei den in der Praxis tätigen Ingenieuren. Sicherlich trägt dazu auch die klare systematische Behandlung des Stoffs und der bewußt gering gehaltene Aufwand an Mathematik bei nach dem Motto der Verfasser: „Komplizieren ist immer einfach". So sind auch einige Abschnitte des Buches, die zur Ergänzung des Stoffs und zur Vertiefung dienen, ohne daß der Inhalt zum Verständnis anderer Kapitel benötigt wird, besonders ausgewiesen.
Im 1. Kapitel werden zunächst Aufgaben und Aufbau der Energieversorgung einschließlich der Probleme der Wirtschaftlichkeit geklärt. Es folgt die ausführliche Behandlung des Drehstromsystems und seine Beschreibung mit Hilfe symmetrischer Komponenten bei symmetrischen und unsymmetrischen Belastungen einschließlich der Oberschwingungen und bei Netzfehlern. Die Verfasser haben dabei in der 3. Auflage leider auch die Bezeichnungen *L1*, *L2* und *L3* für die 3 Leiter des Drehstromsystems übernehmen müssen, wie sie selbst betonen, was bei der Komponententransformation logischerweise Probleme bringt. So werden Ströme und Spannungen in Leitergrößen mit Index 1, 2 und 3 und die symmetrischen Komponenten mit (*1*), (*2*) und (*0*) versehen. Der Rezensent ist dagegen der Meinung, daß für die mathematische Beschreibung der Leitergrößen in der Netzberechnung durchaus nach wie vor die Indices a, b und c die sinnvollste Lösung und auch zulässig sind, denn bei der Bezeichnung der Anzahl der beteiligten Leiter bei der Fehlerberechnung wird abermals der Index 1, 2 und 3 benötigt.
Im 2. Kapitel werden die Modelle und Ersatzschaltbilder für Transformatoren, Asynchronmotoren, Synchrongeneratoren, Freileitungen und Kabel abgeleitet und erläutert. Dem Betrieb elektrischer Versorgungsnetze widmet sich das 3. Kapitel. Hier werden das Betriebsverhalten von Turbogeneratoren, Asynchronmotoren, Transformatoren sowie langer und kurzer Leitungen behandelt und abschließend auf die besonders aktuellen Probleme der Spannungshaltung, statischen Stabilität, Frequenzhaltung und -regelung im Verbundbetrieb eingegangen. Im 4. Kapitel folgt die Behandlung aller in Energieversorgungsnetzen auftretenden Überspannungen, wie zeitweilige Spannungserhöhung mit Netzfrequenz, Schaltüberspannungen und Blitzüberspannungen einschließlich kurz der Isolationsfragen, wie Stoßspannungskennlinie, Isolationsbemessung in Luft und Isoliergas, Fremdschicht- und Gleitüberschläge und der Durchschlagmechanismen in festen und flüssigen Isolierstoffen. Zur Vertiefung wird in diesem Kapitel auf die Überspannungsbegrenzung durch Ventilableiter abschließend eingegangen.
Im letzten, dem 5. Kapitel, wird unter der Überschrift Sicherheitstechnik in Drehstromnetzen ein Überblick über Fehler, Störungen und Schäden in Drehstromnetzen, die Grundzüge des Netzschutzes und der Kurzschlußstromberechnung, die auftretenden Körperströme nebst Auswirkungen sowie die Schutzmaßnahmen dagegen in Niederspannungsnetzen gegeben. Als Beilagen sind Auszüge aus der Normenreihe DIN VDE 100 „Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V" und die Allgemeinen Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse als Sonderdrucke beigegeben. 150 Literaturstellen geben Basisliteratur und weiterführende Literatur an. Das Buch wird sicherlich wieder einen großen Nutzerkreis finden.

H. Pundt, Dresden ELB 22

Meßtechnik und Qualitätssicherung

Von *D. Hofmann*, Berlin: VEB Verlag Technik 1986. 3., stark bearbeitete Auflage. 472 Seiten, 242 Tafeln, gebunden, 54,— M. Bestell-Nr. 5534655

Meßtechnik und Qualitätssicherung wachsen in der modernen arbeitsteiligen und spezialisierten Produktion immer enger zusammen. Es sind Gebiete, die in der Forschung, Entwicklung, Produktion und Anwendung zunehmen und das Gewicht erhalten.
Das nunmehr in der 3. Auflage erschienene Buch ist so angelegt, daß es sowohl die Elemente eines Fach- und Lehrbuches als auch die eines Handbuches und Wissensspeichers in sich vereinigt. Es wendet sich sowohl an die Fachleute in der Praxis als auch an die Studierenden der technischen Fachrichtungen.
Im ersten Teil des Buches werden die allgemeinen Grundlagen der Meßtechnik und Qualitätssicherung (Aufgaben der Meßtechnik und Qualitätssicherung, Grundbegriffe und Definitionen, Formen und Verhalten von Meßsignalen sowie die Strukturen und das Verhalten von Meßsystemen) behandelt. Hier ist das Grundlegende in einer kurzen aber sehr übersichtlichen Form dargestellt. Der Praktiker kann, von Standards über Begriffe bis zu den mathematischen Grundlagen, Bekanntes nachlesen.
Im zweiten Teil des Buches (Abschnitte 6 bis 8) werden Aufbau und Wirkungsweise analoger, digitaler und automatisierter Meßgeräte für Labor, Fertigung und Prozeßmeßtechnik beschrieben. In diesem Teil wurde gegenüber den vorherigen Auflagen die Sensortechnik überarbeitet und besonders hervorgehoben. Fasersensoren und Optoelektroniksensoren wurden entsprechend ihrer wachsenden wissenschaftlich-technischen Bedeutung neu in das Handbuch aufgenommen. Intelligente Sensoren und Sensorsysteme werden gemeinsam mit mikroelektronik-kompatiblen Sensoren geschlossen behandelt. Auf die Meßautomaten mit den typischen Problemen der Programmierung und Interface-Gestaltung wird entsprechend der Weiterentwicklung der Technik eingegangen.
In den Abschnitten 9 bis 14 werden die Probleme Meßfehler, Meßabweichung, Funktionssicherheit, Toleranzen bis zu mathematisch-statistischen Prüfverfahren dargestellt. Die Darstellung ist so gewählt, daß auch ein Nichtspezialist einen guten Überblick über diese Gebiete gewinnen kann.
In den Abschnitten 15 bis 20 werden auf 156 Seiten, sehr gut gegliedert, die Messung räumlicher, zeitlicher, mechanischer, elektrischer, thermischer und optischer Größen behandelt. In dieser Übersicht wird eine Vielzahl von Meßverfahren gezeigt. Durch übersichtliche Tafeln erkennt man sofort das Wesentliche. Da für das einzelne Verfahren die Beschreibung natürlich zu kurz kommen muß, wird in einem umfangreichen Verzeichnis, mit 871 Literaturstellen, den Lesern eine weitere Vertiefung ermöglicht.
Die übersichtlichen Tafeln erleichtern es den Lesern, einen schnellen Überblick über ihre Probleme zu erhalten.

F. Hoppadietz, Berlin EA 2789

Laser/Optoelektronik in der Technik

Herausgeber: *W. Waidelich*
Vorträge des 8. Internationalen Kongresses
Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1987
709 S., Broschur

Der Band faßt einen Teil der Vorträge der Münchener Kongreß-Messe „Laser-Optoelektronik" zu einem eindrucksvollen Querschnitt durch die vielen Technologien und Anwendungsbereiche zusammen, die sich durch die Entdeckung des Lasers und seine heute so vielfältigen Spielarten aufgetan haben (die 1987 im Kongreß erstmalig integrierte Mikrowellentechnik sowie die Beiträge zur medizinischen Anwendung des Lasers werden in gesonderten Bänden publiziert). Der spezielle Abschnitt „Laser und optische Informationstechnik" nimmt darin mit 7 Beiträgen zwar nur einen bescheidenen Raum ein, wobei allerdings 5 davon sehr instruktive und von Kennern der Materie geschriebene Übersichtsvorträge zu LWL-Systemlösungen, dem industriellen Einsatz, dem Stand der OEIC-Technik, der kohärenten Übertragungstechnik und dem Stand der InP-Integration von Bauelementen sind. Trotzdem erweist sich auch der große „Rest" des Bandes als eine Fundgrube für den auf dem optischen Gebiet arbeitenden Informationstechniker. Im Abschnitt „Lasersysteme" (22 Beiträge) finden sich u. a. Vorträge zur Durchstimmbarkeit von Gaslasern und zur Frequenzstabilisierung von Halbleiterlasern. In der „Optischen Meß- und Prüftechnik" (38 Vorträge) nehmen holografische Verfahren und ihre Anwendung einen großen Raum ein — Oberflächenbeurteilung, Bilderken-

nung, Verhalten von CCD-Zeilen, kohärente Meßtechnik und viele andere Teilgebiete seien darüber hinaus stellvertretend und als solche Wissensgebiete genannt, deren Probleme teilweise in unmittelbarer Nähe des Informationstechnikers liegen. Der Schwerpunkt der Tagung lag beim Einsatz der „Laser in der Materialbearbeitung" (58 Vorträge), wo der CO_2-Hochleistungslaser, seine Möglichkeiten, Anwendungen und Probleme vorgestellt wurden. Zwei kleine Komplexe „Laser und Optoelektronik in der Weltraumtechnik" und „Industrie und Laser im Jahre 2000 — Einsatzbereiche und Anwendungen" (5 bzw. 6 Vorträge) runden das Bild ab.

Insgesamt eine lohnenswerte Lektüre — in jedem Fall für den mit der Laseranwendung befaßten Technologen und Meßtechniker, aber auch für den Nachrichtentechniker, der den in Bild und Text ausgezeichnet aufgemachten vorliegenden Band nicht ohne einige Gedankenanstöße für die eigene Arbeit aus der Hand legen wird.

W. Glaser, Berlin ELB 32

Digitale Meßwertverarbeitung Methoden und Fallstudien

Von *M. Paul*. Berlin und Offenbach: VDE-Verlag 1987. 2., aktualisierte Auflage. 378 Seiten, 134 Bilder, 3 Tafeln. Broschur

Die Entwicklung der Mikrorechnertechnik bewirkt eine zunehmende Umstellung analoger Meßmethoden auf digitale Verfahren. Das beginnt bei den simplen Digitalvoltmetern, betrifft digitale Analogdaten-Erfassungssysteme und reicht bis zur digitalen Echtzeitermittlung von z.B. Mittelwerten, Leistungsdichtespektren und Korrelationsfunktionen. Mit einer Verringerung der leistungsbezogenen Kosten digitaler Bausteine und Systeme erschließen sich immer neue Anwendungsbereiche dieser Technik.

Das vorliegende Buch vermittelt dem Anwender eine praxisorientierte Beschreibung von Verfahren der digitalen Meßwertverarbeitung. Beispiele typischer Einsatzfälle digitaler Meßsysteme dienen der Veranschaulichung. Die theoretischen Grundlagen, die bereits in Verbindung mit Groß- und Prozeßrechnern entwickelt wurden, konnten aus der 1. Auflage (1982) unverändert übernommen werden. Das Literaturverzeichnis wurde aktualisiert.

Das Buch gliedert sich in vier Abschnitte. Im Teil A werden Probleme der digitalen Meßwerterfassung behandelt. Teil B umfaßt lineare digitale Methoden zur Meßwertverarbeitung mit der diskreten Fourier-Transformation, digitalen Filtern und digitalen Interpolationsverfahren. Im Teil C werden drei nichtlineare digitale Verarbeitungsmethoden beschrieben: digitale Korrelationsverfahren, Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate und die Cepstrumanalyse. Teil D zeigt an einigen Fallbeispielen die praktische Anwendung der vorgestellten Algorithmen.

Für wichtige Algorithmen und Entwurfsmethoden werden Flußdiagramme oder FORTRAN-Programme angegeben.

F. Fischer, Dresden ELB 39

HÜTTE
Taschenbücher der Technik
Elektrische Energietechnik, Bd. 3: Netze

Herausgeber: *G. Hosemann*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1988. 29. Auflage, 825 Seiten, 441 Bilder

Die vorausgegangene 28. Auflage der „HÜTTE, Starkstromtechnik" war vor 31 Jahren (1957) erschienen und ist wohl inzwischen in Vergessenheit geraten. Seit etwa 25 Jahren sind die mehrbändigen Ausgaben „Taschenbuch Elektrotechnik" (herausgegeben von *E. Philipow*) des VEB Verlag Technik Standardwerke für den Ingenieur und Studenten geworden.

Das „Taschenbuch HÜTTE" (insbesondere der vorliegende Band 3: Netze) verfolgt offenbar eine etwas andere Zielstellung als z.B. das „Taschenbuch Elektrotechnik".

Während sich das „Taschenbuch Elektrotechnik" als Nachschlagewerk für den Hochschulabsolventen versteht und eine konzentrierte, oft tabellarische Übersicht auf der Basis der wissenschaftlichen Grundlagen in den Mittelpunkt stellt, wendet sich die HÜTTE lt. Vorwort an einen Leser mit Grundkenntnissen und Verständnis, wie es ein Grundlagen-Lehrbuch vermittelt. In der HÜTTE nimmt also der beschreibende Text zu Anordnungen, Verfahren und Vorgängen einen breiten Raum ein.

Der Band 3: Netze, verfaßt von 29 Autoren aus Technischen Hochschulen, Herstellerbetrieben und Betreibern, enthält in 10 Hauptabschnitten sehr umfassend die technischen aber auch rechtlichen Probleme des Elektroenergietransportes:

0. Normen der Elektrotechnik (8 Seiten)
1. Grundlagen (306 Seiten)
2. Ausbauplanung der Netze (50 Seiten)
3. Schaltgeräte (43 Seiten)
4. Schaltanlagen (78 Seiten)
5. Freileitungen (50 Seiten)
6. Kabel (50 Seiten)
7. Netzbetrieb (80 Seiten)
8. Selektivschutz (50 Seiten)
9. Informationstechnik (75 Seiten)

Der Wert des Taschenbuches liegt vor allem darin, daß es den Spezialisten umfassend, konzentriert und zuverlässig über die gegenwärtig gültige Fragestellung und deren grundsätzliche Lösung mit modernen Mitteln in Nachbargebieten informiert.

Jedes Kapitel enthält umfangreiche Literaturangaben, gegliedert in Normen, Bücher, Zeitschriftenaufsätze. Das Buch ist sehr übersichtlich ausgestattet; zahlreiche klare Bilder unterstützen die Aussagen des Textes.

H. Böhme, Dresden ELB 23

Elements of Detection and Signal Design

Von *Charles L. Weber*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1987. 289 Seiten, 57 Bilder

Dieses Buch ist eine korrigierte Nachauflage des erfolgreichen, bereits 1968 bei McGraw-Hill erschienenen Werkes gleichen Titels. Es hat als Lehr- und Grundlagenwerk nicht an Aktualität verloren und darf wohl auch zu den klassischen Büchern der stochastischen Nachrichtentheorie gezählt werden.

Wie sein Titel ist auch das Buch in zwei Teile untergliedert. Der erste Teil enthält eine elementare Einführung in die statistische Entscheidungstheorie und ihre praktischen Anwendungen in der Nachrichtenempfangstechnik und stellt auch die Grundlagen für den zweiten Teil bereit, in dem die Theorie des Signalentwurfs (signal design) für optimale Übertragungssysteme dargestellt wird. Der Text beginnt mit einem allgemeinen Modell eines Übertragungssystems, das ausführlich entwickelt und zur Analyse verschiedener bekannter Systeme verwendet wird. Wesentliche weitere Schwerpunkte der Darstellung sind:

— eine einheitliche und leichtfaßliche Darlegung der Theorie der Signalgestaltung für digitale Übertragungssysteme
— die Grundlagen der statistischen Nachrichtentheorie von dem generellen Grundmodell aus, das die meisten praktischen Anwendungsfälle zu beschreiben ermöglicht
— die Behandlung und Diskussion der Entscheidungskriterien nach *Bayes*, nach *Neymann-Pearson* und des Minimax-Kriteriums
— eine umfassende Darstellung kohärenter und nichtkohärenter Übertragungssysteme
— die Erkennung stochastischer Signale im Rauschen.

Ein spezieller Abschnitt ist der Theorie der Erkennung von Radarsignalen gewidmet. Die Behandlung der genannten Probleme erfolgt auf einer sauberen mathematischen Basis und wird durch zahlreiche praktische Anwendungsbeispiele illustriert und wirksam unterstützt. Die Formulierung ist in brillanter Weise präzise und dennoch leicht verständlich. Vorausgesetzt werden Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der stochastischen Prozesse wie sie etwa in einem Hochschulstudium erworben werden. Damit ist das Buch sowohl als Grundlage für eine Ausbildung in statistischer Nachrichtentheorie als auch zum Selbststudium bestens geeignet. Letzteres wird besonders durch zahlreiche Beispiele und Übungsaufgaben am Ende jedes Abschnitts gefördert.

W. Schwarz, Dresden ELB 38

Не забудте заблаговременно продлить подписку на журнал

ELEKTRIE

**на 1989 год,
чтобы исключить перебои в получении всех номеров журнала
в течение всего года.
Мы рады, что вы и дальше будете регулярными читателями нашей публикации.**

Please renew your subscription to journal

ELEKTRIE

**in time, in order
to provide again the delivery of all issues of the 1989 volume.
We are glad, that you will belong to the readers of our periodical
in future, too.**

Documentation

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.; Seyfarth, K.

Active Magnetic Bearings — a Survey of Theoretical Fundamentals, Construction, Operation Mode, Designing, and Specific Problems. Part 1

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 365–371, 25 Figs., 3 Tables, 46 Equations, 17 Refs.

Modern technologies have often high requirements regarding to bearings of shafts. Conventional antifriction and slide bearings are reaching their limits. Active magnetic bearings are offering a developing alternative. This paper provides for a survey of the theoretical fundamentals, construction, operation mode, operating behaviour, designing, power balance, and specific problems of active bearings by example of an active magnetic radial bearing.

Muschick, E.; Pilz, E.; Berger, F.

Decision Problems of the Electric Energy Techniques

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 371–377, 14 Figs., 1 Table, 22 Equations, 16 Refs.

The use of the described decision methods was tested, especially, for problems of planning, dimensioning, balancing, and operating electric energy plants of the transmission network of the GDR, and methodical fundamentals, partially trimmed, were developed, too. by reason of the consequent adjustment to practically relevant decision problems.

Račck, V.

Industrial Roboters with Electric Drives

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 377–380, 9 Figs., 2 Tables, 4 Refs.

Results of scientific works about industrial roboters are represented. Roboters with d. c. high moments motors, with stepping motors and d.c. disk rotor motors are described. They may be used to realizing welding and mounting works.

Beckert, U.; Neuber, W.

Springing and Damping Number of the Asynchronous Machine

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 381–383, 3 Figs., 37 Equations, 6 Refs.

When the asynchronous machine in drive systems is working with low-frequent pendulous load moments, its torsional oscillation behaviour may be simulated by its moment of inertia and a torsional spring with damping. To the springing and damping number clear equations are given.

Hoy, Chr.; Maibaum, G.

Mathematical Statistics in BASIC — Adaptation Testing

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 383–388, 7 Figs., 31 Equations, 20 Refs.

A BASIC programme, dialogically constructed, for microcomputers in bureau and laboratory is represented, which makes the ω^2-adaptation test of Cramér/v. Mises/Smirnov for several selectable hypothetic distribution functions and executes point and confidence calculations for the most important parameters of distribution functions.

Piersig, W.

Prof. Dr. Wicht Celebrates His 65th Birthday

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, pp. 388–390, 5 Figs., 12 Refs.

Prof. Dr. Hans Wicht, born in october 15th, 1923, working at the TU of Karl-Marx-Stadt, is not only the founder of the electrotechnology „Electro-Chemical Metal Working" in the GDR, but also the man, preparing the way for the electrotechnological combination methods, the effective principle of which is the electro-chemical-electrothermal-mechanical metal milling. In three decades he created in cooperation with the industry approximately 600 solution variants of the ECM and EC combination methods for use in praxis.

Документация

Будиг, П.-К.; Тиммель, Х.; Шуберт, Т.; Югель, У.; Зайфарт, К.

Активные магнитные подшипники — обзор теоретических основ, построения, принципа действия, проектирования и специальных проблем — Часть I

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 365–371, 25 рис., 3 табл., 46 уравн., 17 лит.

Современные технологии часто предъявляют высокие требования к опиранию валов. Традиционные подшипники качения и скольжения достигают своих пределов. Активное магнитное опирание представляет собой альтернативу по усовершенствованию. Статья, на примере активного магнитного радиального подшипника, дает обзор теоретических основ, построения, принципа действия, рабочей характеристики, проектирования, баланса мощности и специальных проблем активных магнитных подшипников.

Мушик, Э.; Пильц, Э.; Бергер, Ф.

Проблемы разрешения электроэнергетической техники

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 371–377, 14 рис., 1 табл., 22 уравн., 16 лит.

Рассматриваемые способы решения проверены, в частности, применительно к проблемам планирования, расчета, загрузки и эксплуатации электроэнергетических установок распределительной сети ГДР. Разработаны частично специфичные методические основы, базирующие на последовательной ориентации на релевантные на практике проблемы разрешения.

Рацек, В.

Промышленные роботы с электрическими приводами

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 377–380, 9 рис., 2 табл., 4 лит.

Представляются результаты научных работ по промышленным роботам. Дается описание роботов с высокооборотными, шаговыми и двигателями постоянного тока с дисковым ротором. Они могут применяться для выполнения сварочных и монтажных работ.

Беккерт, У.; Нойбер, В.

Коэффициенты пружинения и затухания асинхронных машин

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 381–383, 3 рис., 37 уравн., 6 лит.

Если асинхронная машина работает в приводных системах с низкочастотными качающимися нагрузочными моментами, то ее характеристику крутильных колебаний можно моделировать с помощью ее момента инерции и крутильной пружины с демпфированием. Указываются наглядные уравнения для коэффициентов пружинения и затухания.

Хой, Хр.; Майбаум, Г.

Математическая статистика в БЕЙСИК: тест по критерию омега-квадрат

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 383–388, 7 рис., 31 уравн., 20 лит.

Представляется диалоговая программа БЕЙСИК для мини-ЭВМ в бюро и лаборатории, выполняющая тест по критерию омега- квадрат по Крамеру (Ф. Мизесу) Смирнову для нескольких выбираемых гипотетических функций распределения и производящая точечное и доверительное оценивание для важнейших параметров функций распределения.

Пирзиг, В.

Профессор д-р Вихт отмечает свое 65-летие

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 10, стр. 388–390, 9 рис., 12 лит.

Профессор д-р Вихт, родившийся 15 окт. 1923 г., ТУ Карл-Маркс-Штадт, считается не только основоположником в ГДР электрической технологии „электрохимической обработки металлов", но и открывателем новых путей для электротехнологических совмещенных способов, принцип действия которых заключается в электрохимически-электротермически-механическом снятии слоев металлов. В течение трех десятилетий он, в сотрудничестве с промышленностью, создал для применения на практике почти 600 вариантов решений совмещенных способов обработки металлов.

Dokumentation

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.; Seyfarth, K.

Aktive magnetische Lager – eine Übersicht über theoretische Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme – Teil 1

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 365–371, 25 Bilder, 3 Tafeln, 46 Gln., 17 Lit.

Moderne Technologien stellen oft hohe Anforderungen an die Lagerung von Wellen. Konventionelle Wälz- und Gleitlager erreichen ihre Grenzen. Aktive magnetische Lagerungen bieten eine Entwicklungsalternative. Der Aufsatz gibt einen Überblick über die theoretischen Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Betriebsverhalten, Entwurf, Leistungsbilanz und spezielle Probleme aktiver Magnetlager am Beispiel eines aktiven magnetischen Radiallagers.

Muschick, E.; Pilz, E.; Berger, F.

Entscheidungsprobleme der Elektroenergietechnik

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 371–377, 14 Bilder, 1 Tafel, 22 Gln., 16 Lit.

Die Anwendung der beschriebenen Entscheidungsmethoden wurde insbesondere für Probleme der Planung, Bemessung, Auslastung und des Betriebes von Elektroenergieanlagen des Übertragungsnetzes der DDR geprüft, und es wurden teilweise zugeschnittene methodische Grundlagen aufgrund der konsequenten Ausrichtung auf praktisch relevante Entscheidungsprobleme mit entwickelt.

Raček, V.

Industrieroboter mit elektrischen Antrieben

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 377–380, 9 Bilder, 2 Tafeln, 4 Lit.

Es werden Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten für Industrieroboter vorgestellt. Beschrieben werden Roboter mit Gleichstrom-Hochmomentenmotoren, mit Schrittmotoren und Gleichstrom-Scheibenläufermotoren. Sie können zur Realisierung von Schweiß- und Montagearbeiten eingesetzt werden.

Beckert, U.; Neuber, W.

Feder- und Dämpfungsziffer der Asynchronmaschine

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 381–383, 3 Bilder, 37 Gln., 6 Lit.

Arbeitet die Asynchronmaschine in Antriebssystemen mit niederfrequenten pendelnden Belastungsmomenten, so läßt sich ihr Torsionsschwingungsverhalten durch ihr Trägheitsmoment und eine Torsionsfeder mit Dämpfung nachbilden. Für die Feder- und Dämpfungsziffer werden übersichtliche Gleichungen angegeben.

Hoy, Chr.; Maibaum, G.

Mathematische Statistik in BASIC: ω^2-Anpassungstest

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 383–388, 7 Bilder, 31 Gln., 20 Lit.

Es wird ein dialoggeführtes BASIC-Programm für Kleinstrechner in Büro und Labor vorgestellt, das den ω^2-Anpassungstest nach Cramér/v. Mises/Smirnov für mehrere wählbare hypothetische Verteilungsfunktionen ausführt und Punkt- und Konfidenzschätzungen für die wichtigsten Parameter von Verteilungsfunktionen vornimmt.

Piersig, W.

Prof. Dr. Wicht begeht den 65. Geburtstag

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 388–390, 5 Bilder, 12 Lit.

Prof. Dr. *Hans Wicht*, geboren am 15. Oktober 1923, TU Karl-Marx-Stadt, gilt nicht nur als der Begründer der Elektrotechnologie „Elektrochemische Metallbearbeitung" in der DDR sondern auch als der Wegbereiter für die elektrotechnologischen Kombinatsverfahren, deren Wirkprinzip der elektrochemisch-elektrothermisch-mechanische Metallabtrag ist. In drei Jahrzehnten schuf er in Zusammenarbeit mit der Industrie nahezu 600 Lösungsvarianten der ECM und EC-Kombinationsverfahren zur Anwendung in der Praxis.

ELEKTRIE

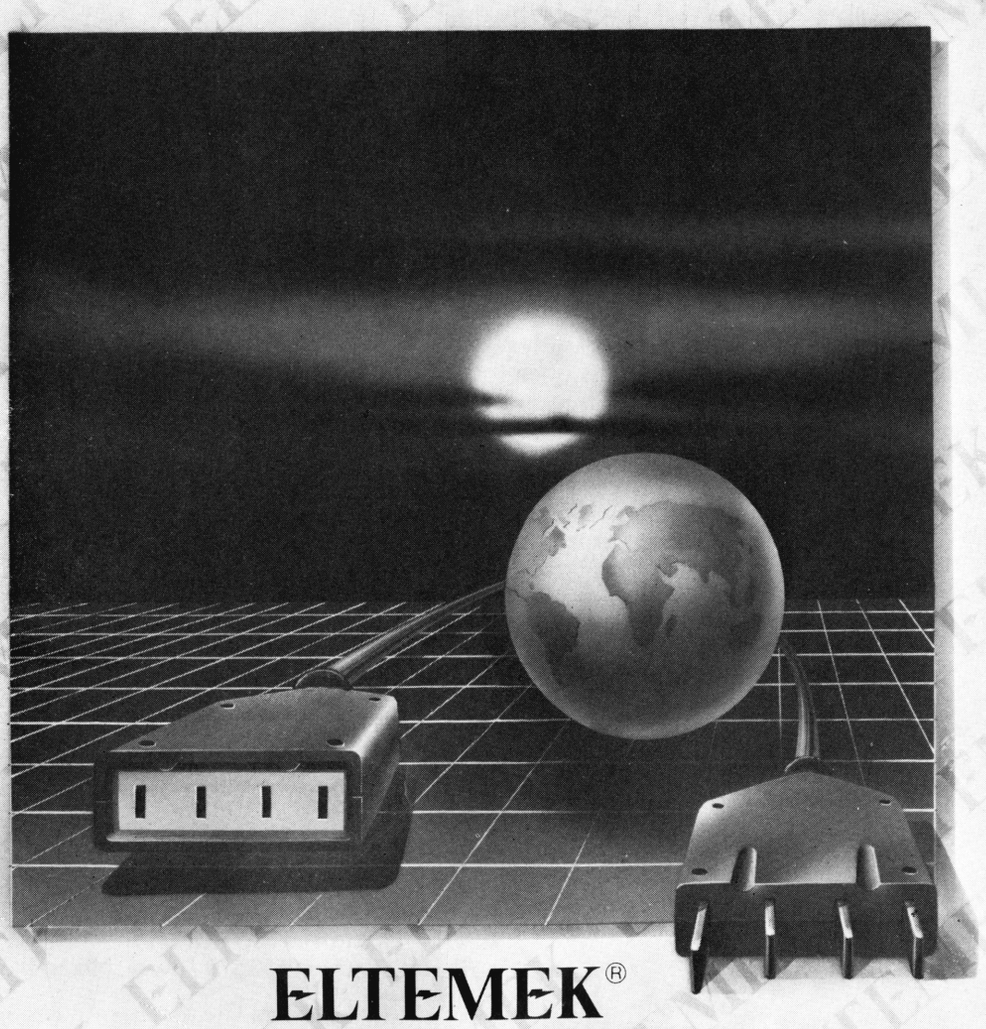
Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700 Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon: 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS, – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS Ustredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

ELEKTRISCHE ANLAGEN AUS DER SOWJETUNION HABEN ES IN SICH!

SOVELECTRO EXPORTIERT UND IMPORTIERT

- alle Arten von Anlagen zur Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Aufnahme von elektrischer Energie
- komplette Service- und Engineering-Leistungen für elektrische Anlagen aus der Sowjetunion
- Lizenzen, Know-How und technische Dokumentationen

SOVELECTRO – EIN BEGRIFF FÜR SPARSAMKEIT UND QUALITÄT



ELTEMEK®

V/O „SOVELECTRO"
UdSSR 127486 Moskau
Deguninskaja ul. 1/4
Telex: 411003 SOEL SU
Telefon: 4 87 31 87

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 10 · S. 361–400

6730 10 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

Auslieferung in diesen Tagen

Elektrische Maschinen

Grundlagen, Aufbau und Wirkungsweise

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Germar Müller. 7., bearbeitete Auflage. Etwa 520 Seiten, 531 Bilder, 34 Tafeln, 2 Beilagen, Leinen, DDR etwa 40,– M, Ausland etwa 56,– DM.
Bestellangaben: 553 895 5/Müller, Grundlagen

Das Hochschullehrbuch vermittelt Grundkenntnisse, die zum tieferen Eindringen in das Fachgebiet notwendig sind. Es wird der grundsätzliche Aufbau der Maschinen (ruhende und rotierende) beschrieben, ihre Wirkungsweise sowie das Betriebsverhalten angegeben und auf konstruktive Besonderheiten eingegangen.
Für die jetzt erscheinende Auflage wurde der Hauptabschnitt C (Gleichstrommaschine) neu gefaßt, speziell im Hinblick auf drehzahlvariable Antriebe. Der neueste Stand der Vorschriften nach IEC, TGL, DIN/VDE ist berücksichtigt.

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Kurt Grubba. Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 2., durchgesehene Auflage. 312 Seiten, 164 Bilder, 72 Tafeln, Kunstleder, DDR 32,– M, Ausland 42,– DM.
Bestellangaben: 553 886 7/VEM-Handb. Prozeßsteuerung

Es werden verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare binäre Steuerungen zur Automatisierung technologischer Prozesse behandelt. Nach einer knappen Darstellung von Grundlagen der Steuerungstechnik wird die gerätetechnische Basis erläutert (Beispiele aus den Systemen RELOG, TRANSLOG 2, ursalog 4000, 5010, 5020). Ausführungen zur Systemtechnik, zum Aufbau, zur Entwurfsmethodik und technischen Realisierung bilden den Hauptteil; im Vordergrund steht das neue Automatisierungssystem „VEM-audatec".

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Fertigung integrierter Schaltungen

Von Prof. Dr. sc. techn. Klaus Schade, Prof. Dr. rer. nat. Roland Köhler und Prof. Dr. sc. techn. Dietrich Theß. 1. Auflage. 236 Seiten, 116 Bilder, 53 Tafeln, Broschur, DDR 24,– M, Ausland 32,– DM.
Bestellangaben: 553 910 6/Schade, Schaltungen

Das Fachbuch behandelt den Fertigungsprozeß mikroelektronischer Schaltungen für einen Leserkreis, der über keine Vorkenntnisse auf diesem Gebiet verfügt. Dabei geht es vor allem um die Erläuterung wichtiger Begriffe und Verfahren sowie um eine praxisbezogene Darstellung der Prozeßschrittfolgen zur Herstellung mikroelektronischer Bauelemente. Wesentliche Zusammenhänge zwischen Material, Verfahren, Fertigungsprozeß und Bauelementeeigenschaften werden herausgearbeitet. Auch auf Probleme, wie Ausbeute, Prozeßorganisation und -steuerung sowie Fertigungskosten wird eingegangen.

Bereits lieferbar

Automatische Steuerungen

Herausgegeben von Dr.-Ing. Detlev Scheffel. Lexikonreihe 1000 Begriffe für den Praktiker. 1. Auflage. 208 Seiten, 214 Bilder, 20 Tafeln, Pappband, DDR 19,50 M, Ausland 23,–DM.
Bestellangaben: 553 776 8/Scheffel, Steuerungen

Das Lexikon enthält in 1000 Artikeln Begriffe der Steuerungs- und Regelungstechnik. Behandelt werden neben den kybernetischen Grundlagen die Glieder automatischer Steuerungen, programmierbare Steuerungen sowie Prozeßrechner und mikrorechnergestützte Automatisierungssysteme. Viele Bilder veranschaulichen den Text. Ein Anhang enthält Nummern und Titel der wichtigsten Standards.

Unterrichtsmethodik Elektrotechnik

Berufstheoretischer Unterricht

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. paed. Heinz Rose und Dr. sc. paed. Werner Thomas. 2., stark bearbeitete Auflage. 344 Seiten, 78 Bilder, 37 Tafeln, Pappband, DDR 27,– M, Ausland 36,– DM.
Bestellangaben: 553 579 7/Rose, Methodik Elektro

Hochschullehrbuch. Gleichzeitig Anleitung für die Gestaltung eines effektiven Unterrichts bei Elektroberufen.